Jukka Hatakka
Heikki Saari
Jarmo Sirviö
Jouni Viiri

Sanoma Pro Oy
Helsinki

Physica 1

Fysiikka luonnontieteenä

Tiedustelut
Sanoma Pro Oy, Helsinki
puh. 020 391 000
sähköposti: asiakaspalvelu@sanomapro.fi

www.sanomapro.fi

Kustantaja: Sanoma Pro Oy

Tämä aineisto on digitaalinen rinnakkaisversio
tuotteesta ISBN 978-952-63-0071-9 Physica 1

12 kk lisenssi ISBN 978-952-63-1905-6
48 kk lisenssi ISBN 978-952-63-1906-3

Toimitus: Eero Taipalus
Ulkoasu: Sari Jeskanen
Taitto: Sari Jeskanen
Kuvitus: Pekka Könönen,
Kuvatoimitus: Anita Kokkila

© Jukka Hatakka, Heikki Saari, Jarmo Sirviö
Jouni Viiri ja Sanoma Pro Oy

Kopiointiehdot
Tämä teos on digitaalinen oppikirja, joka on suojattu tekijänoikeuslailla (404/61).

Lukijalle

Physica 1 on lukion fysiikan ensimmäisen kurssin oppikirja. Kurssi on kaikille yhteinen ja se luo pohjan luonnontieteelliselle yleissivistykselle, jota jokainen tarvitsee elämän eri aloilla. Kurssilla opiskeltavat asiat ovat perusta myös fysiikan syventäville kursseille. Kirjassa käsitellään mittaamista ja mallien laatimista, mekaniikan perusteita, energiaa ja säteilyä sekä aineen ja maailmankaikkeuden rakenteita ja perusvuorovaikutuksia.

Fysiikan latinankielinen nimi physica tarkoittaa ”oppi luonnosta”. Fysiikka on perusluonnontiede ja sen tietoja hyödynnetään muissa luonnontieteissä. Niin biologit, kemistit kuin maantieteilijätkin tarvitsevat nykyisin yhä vankemmat tiedot fysiikasta. Luonnon ilmiöiden selittämiseen tarvitaan sitä enemmän fysiikkaa, mitä perusteellisemmin ilmiöt halutaan ymmärtää. Fysiikan tiedot ovat välttämättömiä myös monilla fysiikkaa soveltavilla aloilla, kuten lääketieteessä ja tekniikassa. Nykyisessä teknistyneessä maailmassa jokaisen on hyödyllistä tuntea fysiikan perusteita.

Fysiikassa luonnon ilmiöitä ja lakeja kuvataan erilaisilla malleilla, jotka voivat olla esimerkiksi graafisia esityksiä, suureyhtälöitä tai kuvia. Physica-sarjaa laadittaessa on erityisesti huomioitu mallien merkitys fysiikassa. On tärkeä oppia ymmärtämään, milloin käsitellään tutkittavaa ilmiötä ja milloin sitä kuvaavaa mallia. Myös kirjan kuvitusta käytetään monessa kohdassa mallina.

Fysiikan ymmärtämisen kannalta käsitteet ovat avainasemassa. Käsitteiden oikeaan määrittelemiseen ja niiden täsmälliseen käyttämiseen on Physica-sarjassa kiinnitetty paljon huomiota.

Fysiikan tieto perustuu havaintoihin ja kokeelliseen tutkimukseen. Kirjassa on paljon kerronnallista kokeellisuutta ja kokeelliseen aineistoon pohjautuvia esimerkkejä sekä kokeellisia kotitehtäviä.

Physica-sarjan kirjoissa on paljon erilaisia graafisia esityksiä. Kuvaajien ja kaavioiden käyttöön perehdytään monissa esimerkeissä ja niiden käyttöä harjoitellaan kotitehtävissä.

Matematiikalla on tärkeä merkitys fysiikassa, sillä luonnosta löydetyt lainalaisuudet esitetään fysiikassa yleensä matemaattisina malleina. Fysiikka ei kuitenkaan ole matematiikkaa eikä pelkkää laskemista. Ilmiöiden ymmärtämisen osoittamiseksi vaaditaan usein sanallinen selitys, jonka kirjoittaminen on monesti vaikeampaa kuin fysiikan laskun ratkaiseminen. Physica-sarjan yhtenä tärkeänä tavoitteena on harjaannuttaa vastaamaan myös fysiikan sanallisiin ongelmiin.

Tekijäryhmä toivottaa mielenkiintoisia hetkiä fysiikan parissa.

Joensuussa, Jyväskylässä, Oulussa ja Tuusulassa
11.11.2011
Tekijät

Sisällys

I Kokeellisuus ja mallintaminen

1 Fysiikka on oppi luonnosta 6
Fysiikan tietämystä tarvitaan kaikkialla 6
Energiantuotanto on iso kysymys 6
Fysiikka on luonnontiede 7
Fysiikasta on paljon iloa 7
Fysiikka liittyy arjen ilmiöihin 7
Fysiikka avaa ovia jatko-opintoihin 8

2 Mittaaminen ja SI-järjestelmä 10
Fysiikassa tietoa saadaan mittaamalla 10
Toisto lisää mittauksen luotettavuutta 10
Merkitsevät numerot ilmaisevat mittaustuloksen tarkkuuden 11
Suure on mitattava ominaisuus 12
SI-yksikköjärjestelmä on sovittu kansainvälisesti 13

3 Tarkkuus ja laskun vaiheet 18
Suureyhtälön ratkaiseminen 18
Merkitsevät numerot laskutoimituksessa 19
Suurilla ja pienillä luvuilla laskeminen 20

4 Mallit kuvaavat todellisuutta 26
Mallit ovat yksinkertaistuksia 26
Mittaustulokset voidaan esittää koordinaatistossa 26
Koordinaatistoon piirretty kuvaaja on graafinen malli 27
Kaava on matemaattinen malli 27
Suureen arvo voidaan määrittää graafisen mallin avulla 28
Malleilla on pätevyysalue 29
Mallin avulla havainnollistetaan ja tehdään ennusteita 29

II Liikkeen tutkiminen

5 Liikkeessä paikka muuttuu 34
Liikettä kuvataan eri tavoin 34
Keskinopeus on matka jaettuna ajalla 35
Matka on keskinopeus kertaa aika 35
Nopeuden yksikköjen muunnos 35
Kuvaajan jyrkkyys paljastaa nopeuden 36

6 Tasaisessa liikkeessä kappaleen nopeus ei muutu 40
Tasainen liike on yksi liikkeen malli 40
Tasaisessa liikkeessä paikan kuvaaja on suora 40
Tasaisessa liikkeessä nopeus on paikan muutos jaettuna kuluneella ajalla 41
Matka voidaan määrittää nopeuden kuvaajasta 42
Ajan laskeminen tasaisessa liikkeessä 42

7 Kiihtyvyys kuvaa liikkeen muutosta 48
Muuttuvassa liikkeessä muuttuu nopeus 48
Keskikiihtyvyys on nopeuden keskimääräinen muutosnopeus 48
Hidastuvassa liikkeessä nopeus pienenee 49
Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä kiihtyvyys ei muutu 49
Tasaisesti hidastuvassa liikkeessä kappaleen nopeus pienenee tasaisesti 50
Tasaisesti kiihtyvä liike on tärkeä malli 50
Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä paikka ei muutu tasaisesti 50
Matka voidaan määrittää nopeuden kuvaajasta 50
Tyhjiössä putoaminen on tasaisesti kiihtyvää liikettä 51

III Voima liikkeen muutoksen aiheuttajana

8 Voima aiheutuu vuorovaikutuksesta 56
Kappaleen liikkeen muutos seuraa vuorovaikutuksista 56
Vuorovaikutuksesta syntyy kaksi voimaa 56
Voima kuvaa vuorovaikutuksen voimakkuutta 56
Voima voi olla kosketusvoima tai etävoima 57
Voimien tunnistaminen 57
Voimakuvion piirtäminen 57
Voimakuvio, kun kappaleeseen vaikuttaa useita voimia 58

9 Kokonaisvoima aiheuttaa liikkeen muutoksen 62
Jatkavuuden laki antaa ehdot liikkeen muutokselle 62
Tasaiseen liikkeeseen ei tarvita voimaa 62
Kiihtyvyys riippuu voimasta ja kappaleen massasta 63
Dynamiikan peruslaki kertoo kiihtyvyyden ja voiman yhteyden 63
Kokonaisvoima on voimien summa 63
Kokonaisvoima ja kappaleen liike 64
Kappaleen massa kuvaa hitautta ja painavuutta 64

IV Energia ja säteily

10 Atomeja kuvataan atomimallilla 70
Atomin ydin muodostuu protoneista ja neutroneista 70
Protonien lukumäärä ilmaisee alkuaineen 70
Kvarkit ja leptonit ovat perushiukkasia 71
Perusvuorovaikutukset ovat etävuorovaikutuksia 72
Gravitaatiovuorovaikutus havaitaan painona 72
Sähkömagneettinen vuorovaikutus pitää aineen koossa 72
Vahva ja heikko vuorovaikutus havaitaan hiukkastasolla 73

11 Energia säilyy luonnonilmiöissä 78
Energialla on eri muotoja 78
Sidottua energia voidaan vapauttaa 78
Vapaa energia liittyy liikkeeseen 79
Energia säilyy ja muuntuu muodosta toiseen 79
Energiakaavio kuvaa energian muuntumista ja säilymistä 80

12 Energialähteet eivät säily 84
Aurinko on Maan tärkein energialähde 84
Energialähteet ovat joko uusiutuvia tai uusiutumattomia 84
Fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia 85
Auringon säteilyenergia saa aikaan uusiutuvia energialähteitä 85
Sähköenergian tuottamisessa käytetään energialähteitä 86
Polttoaineen lämpöarvo 87
Ihminen ja energia 87

13 Säteily – aaltoja ja hiukkasia 92
Sähkömagneettinen säteily on aaltoliikettä ja hiukkassäteily hiukkasten liikettä 92
Hiukkassäteilyä vapautuu radioaktiivisten aineiden ytimistä 92
Näkyvävalo on sähkömagneettista säteilyä 94

14 Ionisoiva säteily ionisoi ainetta 100
Ionisoiva säteily vahingoittaa kudosta 100
Ionisoivaa säteilyä on kaikkialla 101
Ionisoivalla säteilyllä on paljon sovelluksia 102
Säteilyä voidaan mitata 103
Puoliintumisaika kuvaa ytimen pysymättömyyttä 103
Säteily heikkenee aineessa 104
Efektiivinen annos kertoo säteilyn haitan 104
Ionisoivalta säteilyltä voi suojautua 105
Ionisoimaton säteily 106

V Kosmos

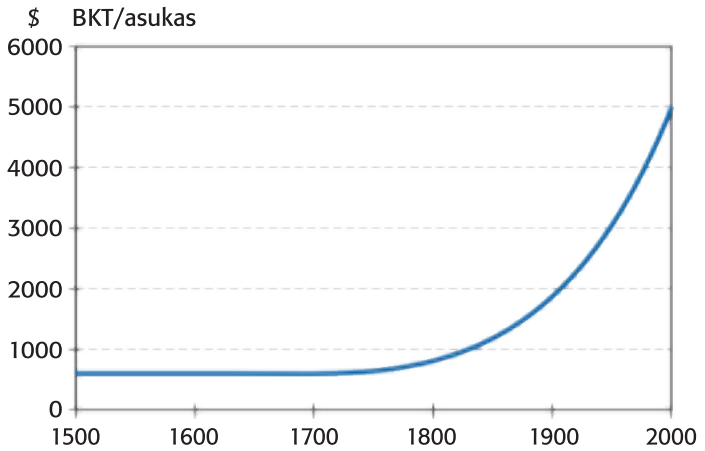
15 Kosmos – maailmankaikkeuden järjestys 110
Maailmankaikkeudella on alku 110
Säteilystä syntyi hiukkasia 111
Maailmankaikkeus laajenee 111
Tähdet syntyvät 112
Tähdet elävät 112
Tähdet kuolevat 113
Suuret tähdet räjähtävät supernovina 113
Supernovaräjähdyksessä voi syntyä musta aukko 113
Galaksit koostuvat tähdistä 114
Galaksijoukot koostuvat galakseista 114
Tähdillä on planeettakuntia 114
Aurinkokunta on osa Linnunrataa 115

16 Tuleeko fysiikka koskaan valmiiksi? 118
Vuorovaikutus sitoo osat yhteen 118
Fysiikan standardimalli yhdistää perushiukkaset ja perusvuorovaikutukset 118
Vuorovaikutukset sitovat materian yhteen 119
Kitka ja tukivoima seuraavat sähkömagneettisesta vuorovaikutuksesta 119
Gravitaatiovuorovaikutus sitoo makroskooppisen maailman kokonaisuudeksi 120

Kertaustehtävät 124
Tehtävien vastaukset 127
Hakemisto 129

1 Fysiikka on oppi luonnosta

Fysiikan kehitys on mahdollistanut avaruuslennot. Avaruudesta otettuja kuvia voidaan käyttää mm. sään ennustamisessa ja ympäristötutkimuksessa.



Maailman bruttokansantuote asukasta kohden vuosina 1500–2000 vuoden 1990 dollareina. Tieteelliset oivallukset ovat mahdollistaneet kehityksen.

Tuulipuistoissa tuotetaan ympäristöystävällistä energiaa.

Fysiikan tietämystä tarvitaan kaikkialla

Kännykät, internet, ledivalot, navigaattorit, käden liikkeellä ohjattavat näytöt, nanotekniikka – siinä muutamia tieteen ja tekniikan sovelluksia, jotka pari-kolmekymmentä vuotta sitten olivat vielä lähinnä haaveita. Tekniikan kehitys on nykyisin niin nopeaa, että voi vain arvailla, millaisia apuvälineitä meillä on käytössä kahdenkymmenen vuoden päästä.

Samalla, kun sovellukset ovat lisääntyneet, tuotteiden hinnat ovat laskeneet ja tekniset laitteet ovat yhä useampien käytössä. Nykyisin on vaikea kuvitella elämää ilman kännyköitä ja tietokoneita.

Satojen vuosien aikana kertynyt fysiikan tietämys on mahdollistanut sen, että esimerkiksi aineen monet sähköiset ominaisuudet osataan hallita hämmästyttävällä tarkkuudella.

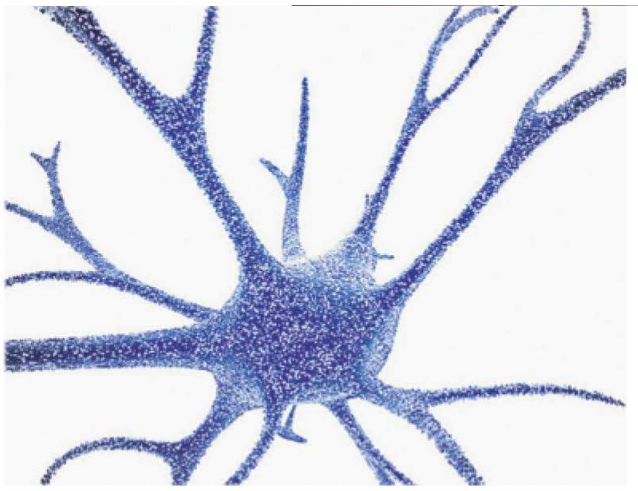
Elektroniikan kehitys on ehkä vaikuttanut arkeemme kaikkein konkreettisimmin, mutta paljon muutakin fysiikkaa – oikeastaan kaikki muu fysiikka – on tarvittu sen ohella. Navigaattorit käyttävät paikannukseen satelliitteja, joiden paikat kullakin hetkellä on tunnettava täsmällisesti. Satelliittien paikkojen laskeminen puolestaan ei olisi mahdollista ilman 1900-luvun alussa syntynyttä suhteellisuusteoriaa.

Useimmat fysiikan uudet oivallukset näkyvät käytännön sovelluksissa vasta vuosien jopa vuosikymmenten jälkeen. Uusi tieto saattaa kuitenkin vaikuttaa ihmisten ajatuksiin jo paljon ennen kuin sitä voidaan soveltaa tuotteina. Atomiydinten fuusioreaktiota ei vielä osata käyttää energian tuotantoon, eikä antimateriaa pystytä säilyttämään suuria määriä, mutta fuusiossa tai antimaterian ja materian kohdatessa vapautuva energia on jo ollut keskeisessä roolissa monen romaanin juonessa.

Energiantuotanto on iso kysymys

Energian tuotantoon liittyvät kysymykset ovat lähivuosina tärkeimpiä ihmiskunnan ratkaistavia ongelmia. Energian tuottaminen muuttaa aina ympäristöä. Suurin tavoite on saada käyttöön niitä energialähteitä, joissa nämä muutokset aiheuttaisivat mahdollisimman vähän haittaa.

Energiapolitiikassa on vaikea tehdä hyviä päätöksiä tuntematta fysiikan perusasioita. Päätöksenteossa on otettava huomioon monia muitakin asioita kuin fysiikan lainalaisuudet, mutta pohjimmiltaan energian tuotannossa on kysymys fysiikasta. Energian tuottaminen on aina energiamuodon muuntamista toiseksi.



Hermosoluissa ärsykkeet kulkevat sähköisinä impulsseina.

Salaman lämpötila on korkea. Jyrinä syntyy, kun ilma laajenee äkisti lämmön vaikutuksesta.

Fysiikka on luonnontiede

Fysiikkaa on luonnontiede, joka etsii selityksiä luonnonilmiöihin. Luonnonilmiöt ovat fysiikalle hyvin laaja käsite. Sellaisia ovat esimerkiksi ihmisen hermostossa sähköimpulssin eteneminen, huurteen muodostuminen lehtien pinnalle kylmänä syysaamuna, neutronitähden pyöriminen ja ilmakehän kasvihuoneilmiö.

Fysiikan tapa kerätä tietoa on mittaaminen. Fysiikassa keskitytään erilaisten mitattavien ominaisuuksien välisiin yhteyksiin, ja tällainen lähestymistapa on osoittautunut tehokkaaksi tavaksi kuvata maailmaa. Tehtyjen havaintojen ja oivallusten perusteella suureiden välisiä yhteyksiä voidaan kuvata matemaattisilla malleilla, ja näitä malleja voidaan käyttää eri ilmiöitä koskevien ennusteiden tekemiseen hyvin laajasti ja monipuolisesti. Siksi fysiikka antaa keinoja ja työkaluja monien vaikeidenkin ongelmien ratkaisemiseen.

Fysiikasta on paljon iloa

Fysiikkaa opiskellaan ja tutkitaan, koska siitä on hyötyä ja iloa. Ihmisen luontainen uteliaisuus saa meidät kysymään miksi-kysymyksiä. Miksi taivas on sininen? Miksi salamaniskusta kuuluu jyrinä? Miksi Aurinko nousee ja laskee joka päivä?

Tarkkaan ottaen nämä kysymykset ovat ”miten voidaan selittää”-kysymyksiä. Varsinaisiin miksi-kysymyksiin, sellaisiin kuin miksi maailmankaikkeus on olemassa tai miksi maapallolla on elämää, fysiikka ei yritäkään vastata. Osaamme nykyisin selittää muun muassa miten ydinreaktiot tapahtuvat, miten tähdet toimivat ja mistä kaikki aine koostuu.

Fysiikka liittyy arjen ilmiöihin

Kaikki fysiikan soveltaminen ei nykyäänkään ole tekemisissä uusimpien fysiikan oivallusten kanssa. Esimerkiksi huippu-urheilun tutkimuksessa suorituksia analysoidaan ja pyritään kehittämään aivan perusmekaniikkaa soveltaen. Talojen energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimet puolestaan ovat periaatteessa yksinkertaista lämpöoppia.

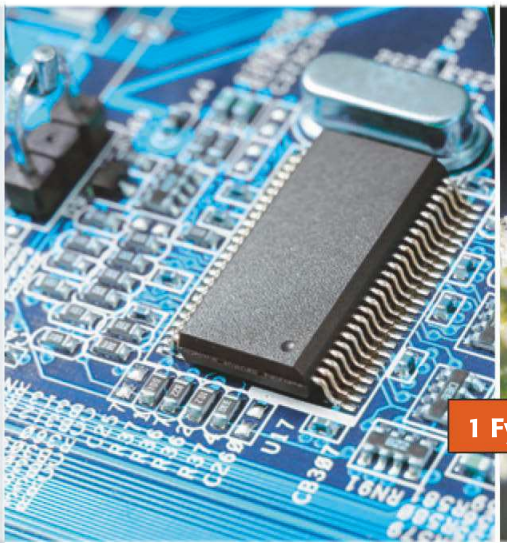
Fysiikan sovelluksia käytetään myös taiteissa. Valtaosa varsinkin kevyestä musiikista käy läpi monta vaihetta tietokoneiden uumenissa ennen kuin se tulee kuunneltavaksi.

Fysiikkaa arjessa

Ledi on uusi valonlähde.

Auringonvalo tulee maahan säteilynä.

Mikroprosessori perustuu puolijohteisiin.



Lehden huurtumisen aiheuttaa veden olomuodon muutos.

Fysiikan lukiokurssit

1. Fysiikka luonnontieteenä
2. Lämpö
3. Aallot
4. Liikkeen lait
5. Pyöriminen ja gravitaatio
6. Sähkö
7. Sähkömagnetismi
8. Aine ja säteily

Fysiikka avaa ovia jatko-opintoihin

Lukion opintoja suunniteltaessa on alusta alkaen tärkeä miettiä, minkä alojen jatko-opintoihin haluaa lukion opintojen avaavan ovet. Fysiikan perustietoja tarvitaan, jos lukion jälkeen on aikomus lähteä opiskelemaan luonnontieteitä tai tekniikkaa. Monille on kuitenkin yllätys, kuinka paljon fysiikan perusopintoja joko edellytetään tai tarvitaan monilla muillakin aloilla. Esimerkiksi lääkärit, biologit ja säätieteilijät tarvitsevat ammatissaan fysiikan perustietoja.

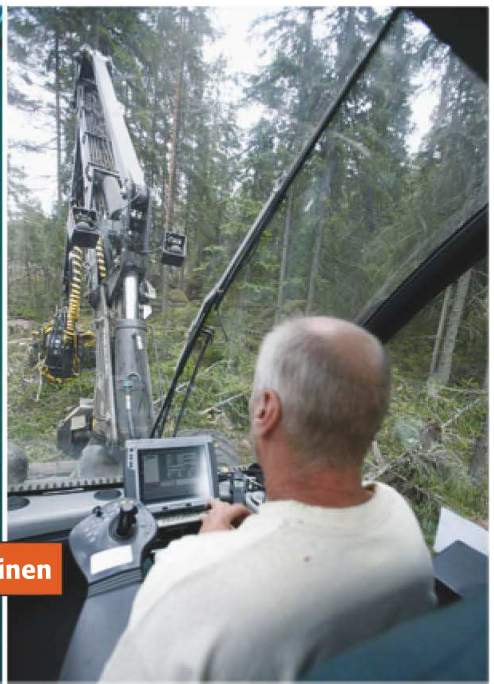
Lukion reaaliaineista fysiikka on kaikkein laajin. Lukion fysiikkaan kuuluu pakollisen kurssin lisäksi seitsemän syventävää kurssia. Useimmissa lukioissa tarjotaan näiden lisäksi vielä kertauskurssi ennen ylioppilaskirjoituksia. Ensimmäisenä vuonna fysiikan kursseja opiskellaan tyypillisesti kolme, toisena vuonna kolme tai neljä, ja kolmantena yhdestä kolmeen. Lukion fysiikan laajuudesta seuraa, että syventävien kurssien opiskelu on käytännössä aloitettava ensimmäisen vuoden aikana.

Fysiikan opiskelu lukiossa myös tukee joitakin sellaisia taitoja, joita ei muissa lukion oppiaineissa juurikaan kohtaa. Esimerkiksi kauppakorkeakoulun pääsykokeisiin on opiskeltava itsenäisesti kansantaloustiedettä, joka perustuu hyvin paljon matemaattisten mallien käyttämiseen. Vaikka siinä mallit ovat hyvin erilaisia kuin fysiikassa ja niitä käytetään kovin eri tavoin kuin fysiikassa, lukion fysiikan opiskelleelle mallien käyttäminen on tuttua.

Fysiikkaa tarvitaan eri ammateissa

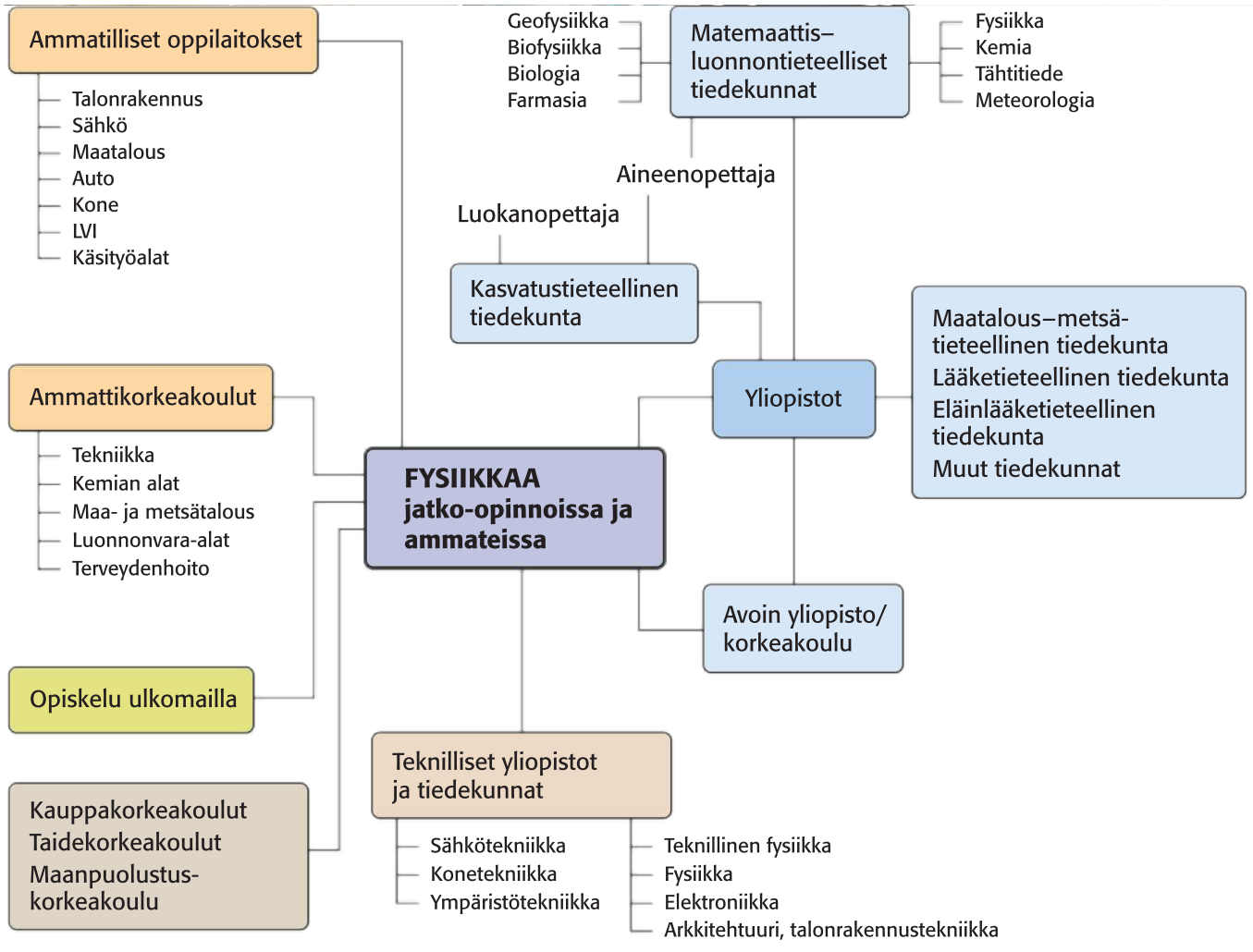
Sairaalafyysikko

Monitoimimetsäkoneenkuljettaja



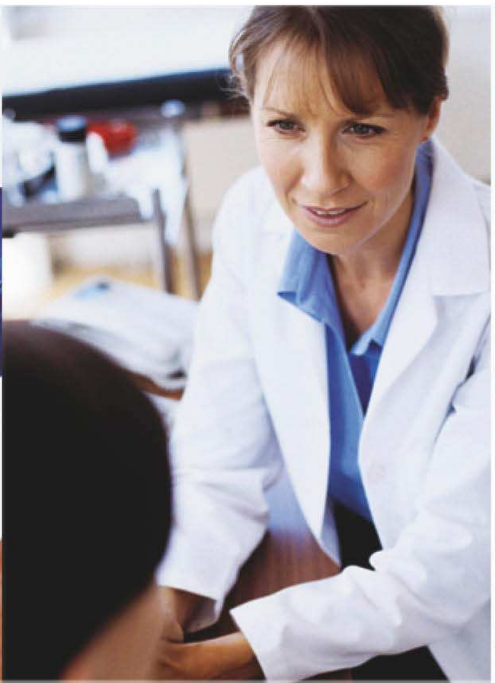
Opettaja

Urheilija



Fysiikka avaa ovia moniin jatko-opiskelupaikkoihin.

Lääkäri

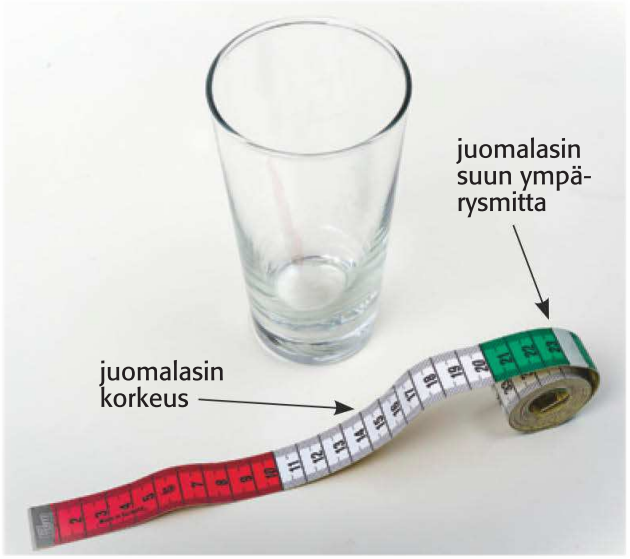


Arkkitehti

Tähtitieteilijä

Säätieteilijä

2 Mittaaminen ja SI-järjestelmä



Juomalasin korkeuden ja suun ympärysmitan pituuksien arviointi on vaikeaa. Mittanauhaan on merkitty juomalasin suun ympärysmitta. Se on selkeästi pitempi kuin juomalasin korkeus.

Mittauksessa virhettä voivat aiheuttaa:
- mittaajan huolimattomuus
- mittalaite ei toimi oikein
- mittalaitteen väärä käyttö
- mitattavan kohteen ominaisuuksien muuttuminen mittauksen aikana
- mittalaite muuttaa mitattavaa kohdetta

Fysiikassa tietoa saadaan mittaamalla

Kumpi on suurempi juomalasin korkeus vai juomalasin suun ympärysmitta? Lasin todellisista mitoista ei saada tarkkaa tietoa pelkästään havainnoimalla, vaan siihen tarvitaan **mittaamista**.

Fysiikassa tieto perustuu mittaamiseen. Fysiikan piiriin kuuluvat vain sellaiset ilmiöt, joista voidaan ainakin periaatteessa saada tietoa mittaamalla. Vain mittaamalla voidaan kerätä tietoa, jonka jokainen voi tulkita samalla tavalla.

Toisto lisää mittauksen luotettavuutta

Fysiikassa mittaukset suoritetaan tarkasti, mutta tarkimmassakin mittausjärjestelyssä voi syntyä virheitä. Virheet voivat johtua mittalaitteesta, mitattavasta kohteesta tai mittauksen tekijästä.

Itse mittaus voi toisinaan muuttaa mitattavan kohteen tilaa. Esimerkiksi, kun mitataan pienen nestemäärän lämpötilaa, on huolehdittava siitä, että lämpömittarin lämpötila ei poikkea paljon nesteen lämpötilasta. Lämpömittarin on oltava pieni mitattavan kohteeseen verrattuna.

Se, kuinka tarkasti mittaukset pystytään tekemään, riippuu paljon mittalaitteesta ja mittaajan kokemuksesta. Mittaustuloksen tarkkuus harkitaan jokaisen mittauksen yhteydessä erikseen. Vaikka tavallisessa mittanauhassa pienin yksikkö on millimetri, monissa mittauksissa tyydytään ilmoittamaan mittaustulos senttimetrin tarkkuudella.

Mittaustarkkuutta voidaan parantaa huolellisella työskentelyllä ja toistamalla mittaus useampaan kertaan. Luotettavin tulos saadaan, jos mittaus voidaan toistaa erilaisilla koejärjestelyillä.

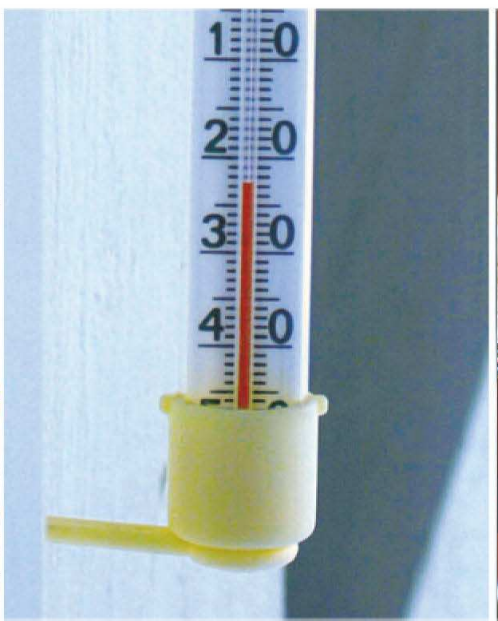
Mittaamme joka päivä jotain.

Kun leivomme, mittaamme taikinaan jauhot, maustteet, voin ja tarvittavat nesteet.

Mittaamme silloin tällöin oman pituutemme ja painomme. Kun seisomme vaa'alla, mittaamme todellisuudessa massamme.

Kun liikumme mopolla tai autolla, mittaamme nopeutta. Nopeusrajoitusten seuraaminen on turvallisuuden kannalta tärkeää.

Asennamme ulos ja sisälle lämpömittareita, jotta voimme tarkkailla lämpötiloja ja pukeutua sopivasti.



Pituuden mittaamiseen voidaan käyttää useita eri mittavälineitä. Mittaväline valitaan sen mukaan, mitä mitataan ja kuinka tarkka mittaustulos halutaan.

Luvussa merkitseviä numeroita ovat kaikki muut paitsi kokonaislukujen loppunollat ja desimaalilukujen alkunollat.

Merkitsevät numerot ilmaisevat mittaustuloksen tarkkuuden

Kun tieto esitetään lukuarvoina, syntyy helposti sellainen mielikuva, että tieto on täsmällistä. Mittaustulos on kuitenkin lähes aina epätäsmällinen. Täsmällinen mittaustulos voidaan ilmoittaa vain, kun lasketaan lukumääriä. Esimerkiksi luokassa on 27 opiskelijaa.

Mittaustuloksen tarkkuuden ilmaisevat **merkitsevät numerot**. Juomalasin halkaisija voidaan mitata tauluviivaimella, rullamitalla tai työntömitalla. Tauluviivaimesta halkaisijan pituus voidaan lukea yhden senttimetrin tarkkuudella, rullamitalla lukema saadaan yhden millimetrin tarkkuudella ja työntömitasta sadasosamillimetrin tarkkuudella. Merkitsevät numerot tarkoittavat mittaustuloksessa niitä numeroita, jotka ovat luotettavasti tunnettuja.

	Mittaustulos	Ilmoitustarkkuus		Merkitseviä numeroita (kpl)
		metri	millimetri	
tauluviivain	7 cm	0,07 m	70 mm	1
rullamitta	7,3 cm	0,073 m	73 mm	2
työntömitta	7,258 cm	0,072 58 m	72,58 mm	4

Merkitsevien numeroiden lukumäärä lasketaan eri tavalla kokonaisluvussa ja desimaaliluvussa. Mittaustulos 430 cm on kokonaisluku. Kokonaisluvun lopussa olevat nollat eivät ole merkitseviä. Siten luvussa 430 cm on kaksi merkitsevää numeroa, numerot 4 ja 3.

Mittaustulokset 4,30 m ja 0,00430 km ovat desimaalilukuja. Desimaaliluvun loppunollat ovat merkitseviä numeroita, mutta desimaaliluvun alussa olevat nollat eivät ole merkitseviä. Siten molemmissa luvuissa on kolme merkitsevää numeroa, numerot 4, 3 ja 0.

Joissain tilanteissa asiayhteys ratkaisee merkitsevien numeroiden lukumäärän. Jos juostaan sadan metrin maailmanennätystä, mitatun juoksumatkan täytyy olla tarkalleen 100 metriä. Tällöin mittaustuloksessa 10 000 cm kaikki numerot ovat merkitseviä.

Kello ilmoittaa ajanhetken. Seurattaessa ajan kulkua mitataan aikavälejä.

Mittaustarkkuudella on merkitystä. Suolan annostelu ruokaan on tehtävä tarkasti.

Lääkkeiden annostelu on hyvin tarkkaa. Joissain tapauksissa pienikin yliannostus voi olla hengenvaarallinen.

Laboratorioissa kemialliseen reaktioon osallistuvat aineet mitataan tarkasti.

Mitattavaa ominaisuutta sanotaan **suureeksi**.
Yksikkö on mitta, johon mitattua suureen arvoa verrataan.

Suureen arvo
= suureen lukuarvo · yksikkö

Suure on mitattava ominaisuus

Kappaleilla ja ilmiöillä on ominaisuuksia, joita voidaan mitata. Mitattavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi oma pituus ja massa sekä kehon lämpötila. Pyöräiltäessä voidaan mitata pyöräilymatka, matkaan kulunut aika ja polkupyörän nopeus. Tällaisia mitattavia ominaisuuksia sanotaan **suureiksi**.

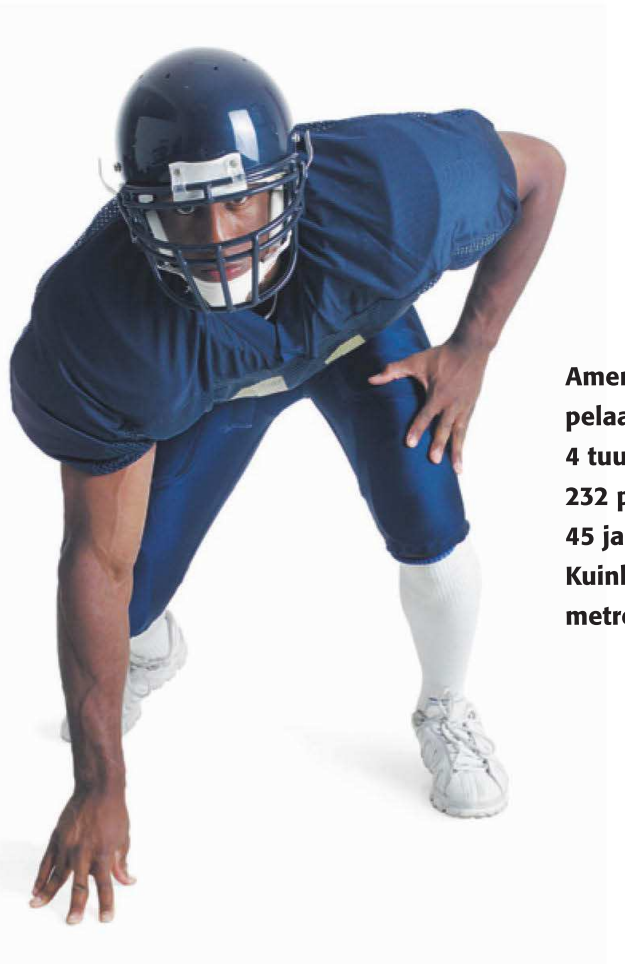
Luonnontieteiden ulkopuolella ”mitataan” sellaisiakin ominaisuuksia, jotka eivät luonnontieteen mielessä ole mitattavia. Sellaisia ovat esimerkiksi älykkyys ja kauneus. Älykkyyttä ja kauneutta ei voida mitata yksikäsitteisesti, joten ne eivät ole suureita.

Mittaustulokset ilmoitetaan **yksikön** avulla. Esimerkiksi pituuden ja matkan yksikkö on metri, ajan yksikkö sekunti ja kehon lämpötilan celsiusaste.

Laskutoimituksissa suureet ja yksiköt ilmaistaan tunnuksin eli lyhentein. Suureiden lyhenteet tulevat usein niiden englanninkielisistä nimistä. Esimerkiksi voiman tunnus on F (*force*) ja nopeuden tunnus on v (*velocity*). Painetussa tekstissä suureiden tunnukset kursivoidaan.

Yksikön lyhenteenä käytetään yleensä yksikön nimen yhtä tai kahta alkukirjainta. Jos yksikkö on nimetty jonkun tutkijan mukaan, lyhenne alkaa isolla kirjaimella. Esimerkiksi sähkövirran yksikkö on ampeeri ja sen tunnus on A sähköopin tutkijan Ampéren mukaan. Yksiköiden tunnuksia ei kursivoida.

Suureen arvo esitetään lukuarvon ja yksikön avulla. Esimerkiksi ajan mittauksen tuloksessa 13 s lukuarvo on 13 ja yksikkö on sekunti.



Amerikkalaisen jalkapallon pelaaja voi olla 6 jalan ja 4 tuuman pituinen, painaa 232 paunaa ja heittää pallon 45 jaardin päähän. Kuinka paljon luvut ovat metreinä ja kilogrammoina?

SI-järjestelmässä on seitsemän perussuuretta.
Johdannaissuureet ilmaistaan perussuureiden avulla.

Perussuureet

Suure	Suureen tunnus	Yksikön nimi	Yksikön tunnus
pituus	*l*, *s*	metri	m
massa	*m*	kilogramma	kg
aika	*t*	sekunti	s
lämpötila	*T*	kelvin	K
sähkövirta	*I*	ampeeri	A
ainemäärä	*n*	mooli	mol
valovoima	*I*	kandela	cd

Johdannaissuureita

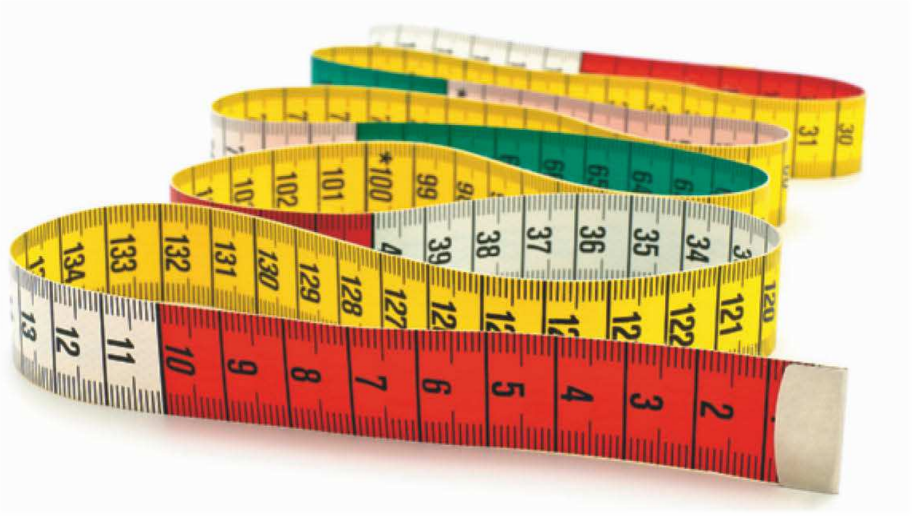
Suure	Suureen tunnus	Yksikkö
nopeus	v	$1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
kiihtyvyys	a	$1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
voima	F	$1\frac{\mathrm{kgm}}{\mathrm{s}^2} = 1\,\mathrm{N}$
energia	E	$1\,\mathrm{Nm} = 1\,\mathrm{J}$
teho	P	$1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = 1\,\mathrm{W}$

SI-yksikköjärjestelmä on sovittu kansainvälisesti

Kaikkialla maailmassa käytetään fysiikassa samoja suureita ja yksiköitä. Eri yksiköiden käyttäminen eri maissa tuottaisi verrattomasti päänvaivaa ja aiheuttaisi onnettomuusriskejä, koska suureiden arvoja ei voitaisi verrata helposti toisiinsa. Yksikkömuunnosten parissa tuhlaantuisi myös suunnattomasti aikaa.

Luonnontieteilijöiden käyttämä yksikköjärjestelmä on **SI-järjestelmä** (*Système International d'Unités*). SI-järjestelmä perustuu seitsemään **perussuureeseen**: pituus, massa, aika, sähkövirta, lämpötila, ainemäärä ja valovoima. Perussuureiden yksiköitä kutsutaan **perusyksiköiksi**. Pituuden, massan ja ajan perusyksiköt ovat jokapäiväisestä elämästä tutut metri, kilogramma ja sekunti. Perusyksiköiden suuruudet on määritelty yksikäsitteisesti.

Perussuureiden avulla muodostetaan **johdannaissuureet**. Esimerkiksi nopeus on johdannaissuure, sen ilmaisemiseen tarvitaan kaksi perussuuretta matka ja aika. Johdannaissuureiden yksiköt eli **johdannaisyksiköt** johdetaan perusyksiköistä. Esimerkiksi nopeuden yksikkö on 1 m/s. Useiden suureiden johdannaisyksiköille on annettu oma erityisnimi, kuten voiman yksikölle newton (N). Perusyksiköiden avulla kirjoitettuna voiman yksikkö 1 N on 1 kgm/s^2.



SI-järjestelmän tutuimpia yksiköitä on käytetty Manner-Euroopassa ja Pohjoismaissa hyvin pitkään. Sen sijaan Iso-Britanniassa ja Pohjois-Amerikassa käytetään vielä yleisesti pituuden, massan ja lämpötilan yksiköitä, jotka eivät kuulu SI-järjestelmään. Näissä maissa ollaan siirtymässä vähitellen SI-järjestelmään.

Tiivistelmä

- Mittaustulokset ovat aina likiarvoja.
- Mitattavaa ominaisuutta sanotaan suureeksi.
- Suureen arvo = suureen lukuarvo · yksikkö
- Merkitsevät numerot ilmaisevat mittaustuloksen tarkkuuden.
- Merkitseviä numeroita ovat kaikki muut numerot paitsi kokonaislukujen loppunollat ja desimaalilukujen alkunollat.

Esimerkki 1 — Mittaustuloksen numeroiden merkitys

Maastolenkin pituudeksi mitattiin 1 430 m.

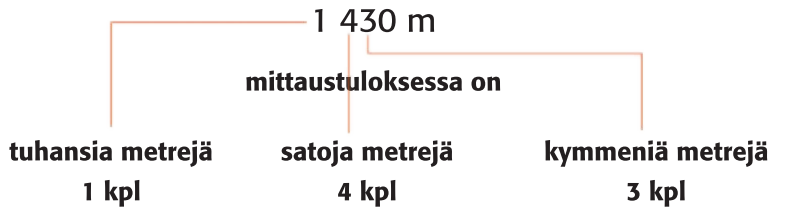
a) Mitä mittaustuloksessa olevat numerot ilmoittavat?

b) Kuinka monta merkitsevää numeroa mittaustuloksessa on?

c) Millä tarkkuudella maastolenkin pituus on ilmoitettu?

Ratkaisu

a) Mittaustuloksen numeroiden merkitys ilmenee kuvasta. Numerot 1, 4 ja 3 on saatu mittaamalla, ja numero 0 on pyöristetty.



Mittaustuloksen perusteella ei tiedetä, kuinka monta yhtä metriä mittaustuloksessa on.

b) Mittaustuloksessa on kolme merkitsevää numeroa, numerot 1, 4 ja 3.

c) Maastolenkin pituus on ilmoitettu 10 metrin tarkkuudella.

Vastaus

b) Kolme merkitsevää numeroa.

c) Kymmenen metrin tarkkuudella.

Esimerkki 2 — Merkitsevien numeroiden määrä

Kuinka monta merkitsevää numeroa on mittaustuloksissa

a) 230 cm

b) 2,30 m

c) 0,00230 km?

Ratkaisu

a) Mittaustuloksessa 230 cm on kaksi merkitsevää numeroa, numerot 2 ja 3. Kokonaisluvun loppunolla ei ole merkitsevä.

b) Mittaustuloksessa 2,30 m on kolme merkitsevää numeroa, numerot 2, 3 ja 0. Desimaaliluvun loppunolla on merkitsevä.

c) Mittaustuloksessa 0,00230 km on kolme merkitsevää numeroa, numerot 2, 3 ja 0. Desimaaliluvun alkunollat eivät ole merkitseviä, mutta loppunollat ovat.

Vastaus

a) Kaksi merkitsevää numeroa.

b) Kolme merkitsevää numeroa.

c) Kolme merkitsevää numeroa.

Esimerkki 3 — Mittaustuloksen ilmoittaminen

Pöydän pituuden mittaustulokseksi ilmoitetaan 2,30 m.
Mikä pöydän todellinen pituus voi olla?

Ratkaisu

Pöydän pituus 2,30 m on ilmoitettu kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella. Pöydän todellinen pituus voi olla mikä tahansa pituuksien 2,295 m ja 2,305 m välillä.

Vastaus

Todellinen pituus on välillä 2,295 m – 2,305 m.

Esimerkki 4 — Mittari, esimerkkinä verenpainemittari

a) Mistä verenpaine johtuu, ja missä yksikössä sitä mitataan?
b) Mikä paineen SI-yksikkö on?
c) Kuinka suuri verenpaine kuvan henkilöllä on?

Ratkaisu

a) Sydämen supistuessa paine verisuonissa kasvaa. Supistusvaiheen suurinta painearvoa sanotaan yläpaineeksi (SYS). Sydänlihaksen rentoutuessa paine verisuonissa pienenee. Tätä painetta kutsutaan alapaineeksi (DIA). Verenpaine mitataan yksikössä mmHg, elohopeamillimetri. Se on vanha paineen yksikkö.
b) Paineen SI-yksikkö on Pa, pascal.
c) Kuvan henkilöllä yläpaine on 120 mmHg ja alapaine on 80 mmHg.

Vastaus

c) Yläpaine on 120 mmHg ja alapaine on 80 mmHg.

2 Tehtävät — Perustehtävät

1. Mittaustulokseksi saatiin 1 450 kg.
- **a)** Mitä suuretta mitattiin?
- **b)** Mikä on mittaustuloksen lukuarvo?
- **c)** Mikä on mittaustuloksen yksikkö?
- **d)** Mikä olisi voinut olla mittauksen kohde?
- **e)** Kuinka monta merkitsevää numeroa mittaustuloksessa on? Esim. ①

2. Mikä on seuraavien suureiden SI-yksikkö?
- **a)** pituus
- **b)** massa
- **c)** aika
- **d)** lämpötila

3. **a)** Mitkä numerot mittaustuloksessa 3 200 km ovat merkitseviä?
- **b)** Mitä ne ilmoittavat? Esim. ①

4. **a)** Mitkä numerot luvussa 14,30 m ovat merkitseviä?
- **b)** Mitä ne ilmoittavat? Esim. ①

5. Mitä asioita on mitattava, jos halutaan selvittää
- **a)** huoneen tilavuus
- **b)** ohi ajavan auton nopeus?

6. Kuinka monta merkitsevää numeroa mittaustuloksessa on?
- **a)** 1 043 s
- **b)** 173,020 0 m
- **c)** 0,000 457 m
- **d)** 35 000 kg Esim. ②

2 Tehtävät — Soveltavat tehtävät

7. Ilmaise suureen arvo kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella
- **a)** 102,030 kg
- **b)** 27 091 km
- **c)** 0,022 83 mm. Esim. ②

8. Laiturin pituuden mittaustulokseksi ilmoitetaan 5,20 m. Mikä laiturin todellinen pituus voi olla? Esim. ③

9. **a)** Mitä suuretta kuvassa mitataan?
- **b)** Mikä on mittaustulos? Esim. ④

10. **a)** Mitä suuretta kuvassa mitataan?
- **b)** Mikä on mittaustulos?
- **c)** Kuinka monta merkitsevää numeroa mittaustuloksessa on?

11. Mikä on seuraavien suureiden SI-yksikkö ja mitä muita yksiköitä suureelle käytetään? Käytä apuna taulukkokirjaa.

a) nopeus
b) teho
c) energia
d) paine

12. Miten mittaisit

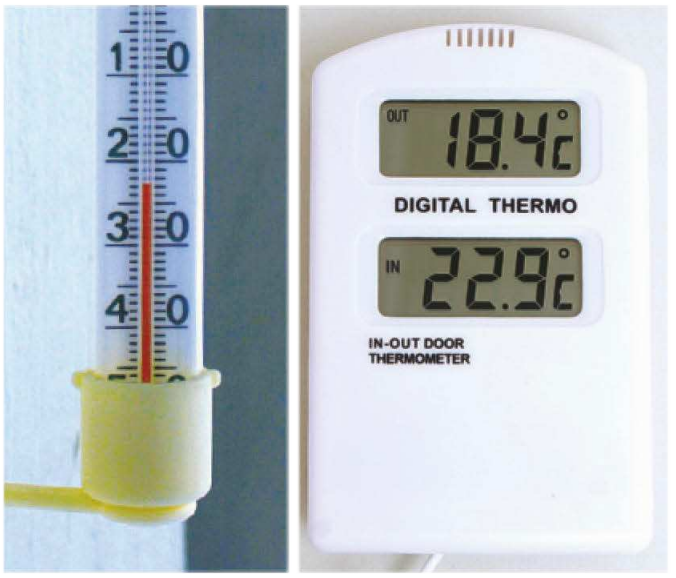
a) joessa virtaavan veden nopeuden
b) nyrkin kokoisen kiven tilavuuden
c) pitkän männyn korkeuden?

13. Mittaustulokseksi saatiin 39 MW.

a) Mitä suuretta mitattiin?
b) Mikä on mittaustuloksen lukuarvo?
c) Mikä on mittaustuloksen yksikkö?
d) Onko suure perussuure vai johdannaissuure?

14. **a)** Mitä suuretta kuvassa mitataan?
b) Mikä on mittaustulos?
c) Kuinka monta merkitsevää numeroa mittaustuloksissa on? Esim. ② ja ④

15. **a)** Mitä suuretta kuvissa mitataan?
b) Millä tarkkuudella lämpömittareista voidaan lukea mittaustulos?
c) Kuinka suuri lämpömittareiden mittaustulos on?



3 Tarkkuus ja laskun vaiheet

Jos kysytty suure on kappaleen kulkema matka s, niin keskinopeuden suureyhtälöstä $v_k = \frac{s}{t}$ ratkaistaan

$$v_k = \frac{s}{t} \quad | \cdot\ t$$
$$v_k t = s$$
$$s = v_k t$$

Huomaa!
Yhtälöön ei siis kirjoiteta pelkkiä lukuarvoja 100 ja 3, vaan lukuarvot yksiköineen.

Suureyhtälön ratkaiseminen

Fysiikassa tietoja käsitellään yleensä laskutoimituksin ja suuri osa koulufysiikan tehtävistä sisältää laskuja.

Fysiikassa suureiden väliset riippuvuudet ilmoitetaan **suureyhtälöinä**. Esimerkiksi matkan s, nopeuden v ja ajan t välinen yhteys voidaan ilmoittaa muodossa $s = vt$. Suureyhtälöitä kutsutaan myös lyhyemmin yhtälöiksi tai kaavoiksi.

Kun tehtävässä kysytään jonkin suureen arvoa, suureyhtälöstä on aina ensin ratkaistava kysytty suure. Sen jälkeen ratkaistuun lausekkeeseen sijoitetaan tunnetut arvot. Kun lukuarvot sijoitetaan suureyhtälöön, suureisiin on aina ehdottomasti kirjoitettava myös yksiköt. Lopuksi ratkaistaan lausekkeen arvo ja lasketaan yksikkö.

Jos lasketaan kuljettua matkaa s ja tunnetaan nopeus v (100 km/h) ja aika t (3 h), matka lasketaan seuraavasti.

$$s = vt = 100\frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 3\ \text{h} = 300\ \text{km}.$$

Joskus tehtävästä lasketaan välituloksia eli suureiden arvoja, joita käytetään tehtävän myöhemmissä vaiheissa. Tällaisen välituloksen arvoa ei pyöristetä. Välitulos kannattaa jättää laskimeen tai paperiin. Myöhemmissä laskuissa käytetään laskimen tai paperin muistiinpanoissa olevaa tarkinta arvoa. Ratkaisussa tarkan välituloksen käytön voi ilmaista kirjoittamalla sen muutamaa (2–3) merkitsevää numeroa tarkemmin kuin lopputuloksen. Jos sijoituksessa tarvitaan välivaiheita, yksiköt on merkittävä näkyviin jokaiseen välivaiheeseen.

Ratkaisun lopputuloksen oikea tarkkuus riippuu lähtöarvojen tarkkuudesta.

Kilpa-auto ajaa 2, 3 km:n matkan 37 sekunnissa. Mikä on auton keskinopeus?

1 Tehtävän suureiden arvojen kokoaminen

$s = 2{,}3\ \text{km} = 2\,300\ \text{m}$
$t = 37\ \text{s}$
$v_k = ?$

2 Käytettävä kaava

$s = 2{,}3\ \text{km} = 2\,300\ \text{m}$
$t = 37\ \text{s}$
$v_k = ?$
$v_k = \frac{s}{t}$

3 Sijoittaminen

$s = 2{,}3\ \text{km} = 2\,300\ \text{m}$
$t = 37\ \text{s}$
$v_k = ?$
$v_k = \frac{s}{t}$
$= \frac{2\,300\ \text{m}}{37\ \text{s}}$

4 Laskeminen

$s = 2{,}3\ \text{km} = 2\,300\ \text{m}$
$t = 37\ \text{s}$
$v_k = ?$
$v_k = \frac{s}{t}$
$= \frac{2\,300\ \text{m}}{37\ \text{s}}$
$= 62{,}1621\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Jako- tai **kertolaskujen** lopputuloksessa on yhtä monta merkitsevää numeroa kuin siinä lähtöarvossa, jossa on vähiten merkitseviä numeroita.

Vähennys- ja **yhteenlaskun** lopputuloksessa on yhtä monta desimaalia kuin epätarkimmassa lähtöarvossa.

Merkitsevät numerot laskutoimituksessa

Jokaisen tehtävän lopuksi pitää tarkistaa, millä tarkkuudella vastaus pitää ilmoittaa. Seuraavassa on esimerkkejä ilmoitustarkkuudesta.

Polkupyörän keskinopeus lasketaan jakamalla kuljettu matka ajalla. Jos kuljettu matka on 3 km ja rannekellolla mitattu aika on 1 637 sekuntia, keskinopeudeksi saadaan

$$\frac{3\,\text{km}}{1637\,\text{s}} = \frac{3000\,\text{m}}{1637\,\text{s}} = 1{,}833\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Vastauksesta syntyy mielikuva, että sekunnissa edetty matka tiedetään millimetrin tarkkuudella, eli 1 833 mm. Tämä vastaus olisi mieletön, koska matka 3 km tiedetään vain yhden merkitsevän numeron tarkkuudella. Siksi vastauksessakin saa olla vain yksi merkitsevä numero, eli 1 833 m/s ≈ 2 m/s.

Samaan tapaan ajassa 70 s nopeudella 8,15 m/s saadaan kuljetuksi matkaksi

$$70\,\text{s} \cdot 8{,}15\frac{\text{m}}{\text{s}} = 570{,}5\,\text{m}.$$

Tämä tulos voidaan kuitenkin ilmoittaa vain tarkkuudella 600 m.

Matkalaukun massa mitataan lähtöselvityksessä vaa'alla, jonka mittaustarkkuus on 0,1 kg. Mittauksessa laukun massaksi saadaan 23,3 kg, joka on liian paljon. Laukusta otetaan pois karamellipussi, jonka massa on 425 g. Laukun massa on tämän jälkeen

$$23{,}3\,\text{kg} - 0{,}425\,\text{kg} = 22{,}875\,\text{kg}.$$

Laukun massa tunnetaan kuitenkin vain 0,1 kg:n tarkkuudella, joten laskun tulos voidaan antaa tarkkuudella 22,9 kg.

Vastaavasti jos kuorma-autoon, jonka massa on 12 300 kg, ja sen kyytiin tulevan liftarin massa on 82 kg, yhteismassaksi saadaan

$$12\,300\,\text{kg} + 82\,\text{kg} = 12\,382\,\text{kg}.$$

Koska kuorma-auton massa tunnetaan vain sadan kilogramman tarkkuudella, vastauksen voi antaa muodossa 12 400 kg.

Mikäli yhteenlaskettavien joukossa on nollaan päättyviä kokonaislukuja, asiaa pitää tutkia tapauskohtaisesti.

5 Pyöristäminen

$s = 2{,}3\,\text{km} = 2\,300\,\text{m}$

$t = 37\,\text{s}$

$v_k = ?$

$$v_k = \frac{s}{t} = \frac{2\,300\,\text{m}}{37\,\text{s}} = 62{,}1621\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 62\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6 Vastauksen kirjoittaminen

$s = 2{,}3\,\text{km} = 2\,300\,\text{m}$

$t = 37\,\text{s}$

$v_k = ?$

$$v_k = \frac{s}{t} = \frac{2\,300\,\text{m}}{37\,\text{s}} = 62{,}1621\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 62\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

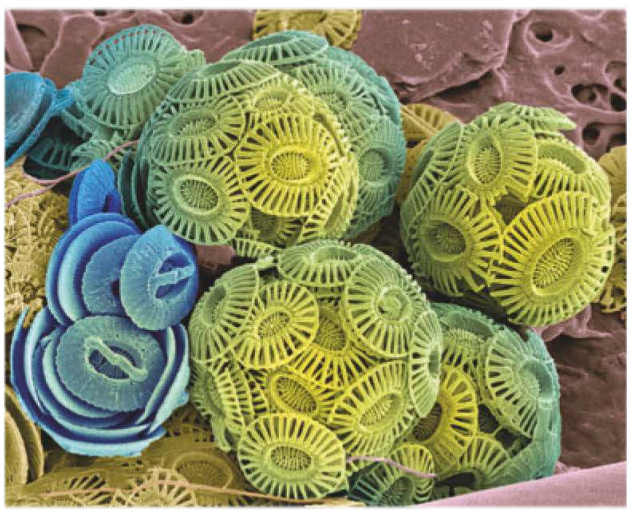
Vastaus: Keskinopeus on $62\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Vetomitta		Tilavuusmitta	
litra	(l)	kuutiodesimetri	(dm^3)
millilitra	(ml)	kuutiosenttimetri	(cm^3)
mikrolitra	(µl)	kuutiomillimetri	(mm^3)

$1\ l = 10\ dl = 1\ dm^3$
$1\ dl = 10\ cl = 100\ cm^3$
$1\ cl = 10\ ml = 10\ cm^3 = 10\ 000\ mm^3$

$1\ m^3 = 1\ 000\ dm^3 = 1\ 000\ l$
$1\ m^2 = 100\ dm^2 = 10\ 000\ cm^2$

Kuvassa on avaruuden aluetta, jossa syntyy uusia tähtiä. Tähtitieteilijät käyttävät suuria lukuja, miljoonia ja miljardeja. Lähimpään galaksiin on matkaa noin 2,5 miljoonaan valovuotta ja maailmankaikkeuden ikä noin 13,7 miljardia vuotta.



Kuvassa on kalkkiplanktonia, jota tutkitaan muun muassa selvitettäessä ilmaston muutoksen vaikutuksia meren eliöstöön. Koska kohteet ja pitoisuudet ovat pieniä, planktonin tutkijat käyttävät tutkimuksissaan etuliitteitä nano ja piko.

Suurilla ja pienillä luvuilla laskeminen

Fysiikassa tutkitaan koko maailmankaikkeutta pienimmästä suurimpaan, joten välillä joudutaan käyttämään yksiköiden hyvin pieniä osia ja suuria kerrannaisia. Ne voidaan ilmaista kymmenen potenssien avulla.

Esimerkiksi matka 1 km voidaan kirjoittaa
$1\ km = 1\ 000\ m = 10 \cdot 10 \cdot 10\ m = 10^3\ m.$

Vastaavasti
$3\ km = 3\ 000\ m = 3 \cdot 1000\ m = 3 \cdot 10^3\ m.$

Pienten arvojen ilmaisemiseen käytetään negatiivisia kymmenen potensseja. Potenssi 10^{-3} tarkoittaa lukua $\frac{1}{10^3} = \frac{1}{1000} = 0{,}001$. Siten esimerkiksi pituus 0,000 072 m voidaan kirjoittaa muodossa $72 \cdot 10^{-6}$ m, koska $0{,}000\ 072\ m = 72 \cdot 0{,}000\ 001\ m$.

Usein kymmenpotenssimuodot kirjoitetaan kuitenkin niin, että kymmenen potenssia edeltävä kerroin on vähintään yksi mutta pienempi kuin kymmenen. Tätä periaatetta noudatetaan useimmissa laskimissa. Siten edellä mainittu pituus olisi näin merkittynä $7{,}2 \cdot 10^{-5}$ m eikä $72 \cdot 10^{-6}$ m, vaikka luvut ovat samat.

Lyhyin tapa ilmaista hyvin suuria ja hyvin pieniä suureiden arvoja on käyttää **kerrannaisyksiköitä**, jotka ilmaistaan etuliitteiden avulla. Kerrannaisyksikön avulla lausuttuna tuhat metriä on yksi kilometri, 1 km. Kun lukujen kymmenpotenssimuodot kirjoitetaan niin, että eksponentti on kolmella jaollinen, kymmenenpotenssi voidaan suoraan korvata etuliitteellä. Esimerkiksi henkilöauton liike-energia voi olla $1{,}2 \cdot 10^6\ J = 1{,}2\ MJ$.

Kymmenen potenssit ja lyhenteet

Kymmenpotenssi	Lyhenne	Nimitys	Suuruus
10^{12}	T	tera	1 000 000 000 000
10^9	G	giga	1 000 000 000
10^6	M	mega	1 000 000
10^3	k	kilo	1 000
10^2	h	hehto	100
10^1	da	deka	10
			1
10^{-1}	d	desi	0,1
10^{-2}	c	sentti	0,01
10^{-3}	m	milli	0,00 1
10^{-6}	µ	mikro	0,00 000 1
10^{-9}	n	nano	0,00 000 000 1
10^{-12}	p	piko	0,00 000 000 000 1
10^{-15}	f	femto	0,00 000 000 000 000 1
10^{-18}	a	atto	0,00 000 000 000 000 000 1

Kerrannaisyksiköitä tai kymmenen potensseja käyttämällä voidaan osoittaa, kuinka täsmällisesti suureen arvo tunnetaan eli merkitsevien numeroiden määrä. Esimerkiksi matkasta 75 000 m ei voi varmasti sanoa, kuinka tarkasti se tunnetaan. Jos se tunnetaan sadan metrin tarkkuudella, voidaan matka ilmoittaa joko muodossa $75{,}0 \cdot 10^3$ m tai 75,0 km, jolloin suureen arvon tarkkuus tulee ilmeiseksi.

Tiivistelmä

- Suureyhtälö, kaava, kertoo suureiden välisen riippuvuuden.
- Suureyhtälöstä ratkaistaan tuntematon suure.
- Yhtälöön sijoitetaan sekä lukuarvo että yksikkö.
- Vastaus tulee ilmoittaa lähtöarvojen tarkkuuden antamalla tarkkuudella.

Esimerkki 1

Tehtävän ratkaisemisen vaiheet

Kuinka pitkä aika kuluu, kun opettaja kiiruhtaa tunnin jälkeen kahville opettajien huoneeseen?
Opettajan keskinopeus on 2,6 m/s ja matka luokasta kahvitilaan on 42 m.
Keskinopeus on $v_k = \frac{s}{t}$, jossa s on kuljettu matka ja t matkaan kulunut aika.

Ratkaisu

$v_k = 2{,}6$ m/s, $s = 42$ m, $t = ?$

1. Kootaan tehtävän suureiden arvot.

Keskinopeus v_k on määritelmän mukaan $v_k = \frac{s}{t}$, jossa s on kuljettu matka ja t matkaan kulunut aika.

2. Tehtävän ratkaisussa käytetään keskinopeuden määritelmää.

Ratkaistaan aika t.

$v_k = \frac{s}{t} \quad | \cdot t$ (kerrotaan puolittain ajalla t)

$v_k t = s \quad | : v_k$ (jaetaan keskinopeudella v_k)

$t = \frac{s}{v_k}$

3. Ratkaistaan suureyhtälö

Sijoitetaan tunnetut arvot.

$$t = \frac{s}{v_k} = \frac{42\ \text{m}}{2{,}6\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 16{,}1538\ \text{s} \approx 16\ \text{s}$$

4. Sijoitetaan ratkaistuun yhtälöön tunnetut suureiden arvot yksikköineen ja ratkaistaan kysytyn suureen arvo. Pyöristetään se oikeaan tarkkuuteen. Koska molemmissa lähtöarvoissa on kaksi merkitsevää numeroa, lopputulos annetaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella.

Vastaus

Opettajalta kuluu 16 s.

5. Kirjoitetaan vastaus.

Saatu tulos on järkevä aika ripeästi kiiruhtavalle opettajalle.

6. Arvioidaan tuloksen mielekkyys.

Huomaa!

Usein fysiikkaan liittyvissä ongelmissa on tarpeellista tai ainakin hyödyllistä arvioida suureen arvojen suuruusluokkia, vaikka ongelma ei edellyttäisikään varsinaisia laskuja. Myös laskutoimituksissa saatujen tulosten mielekkyyden arvioimiseen tarvitaan suuruusluokka-arviota.

Esimerkki 2 — Tuloksen tarkkuus yhteenlaskussa

Vuoristokiipeilijä pystyttää Kilimanjaron huipulle lipun, jonka tangon pituus on 325 cm. Kilimanjaron korkeus merenpinnasta on 5 892 m.
Kuinka korkealla merenpinnan yläpuolella lippu on?

Ratkaisu

Vuoren huipulle pystytetyn tangon huippu on korkeudella
5 892 m + 3,25 m = 5 895,25 m ≈ 5 895 m.

Tangon pituus tiedetään metrin sadasosan (senttimetrin) tarkkuudella, mutta vuoren korkeus tunnetaan vain metrin tarkkuudella, joten vastaus annetaan metrin tarkkuudella.

Vastaus

Lippu on 5 895 m merenpinnan yläpuolella.

Esimerkki 3 — Tuloksen tarkkuus yhteenlaskussa

Kappaleen liike-energian suuruuden ilmaisee lauseke $\frac{1}{2}mv^2$.
Laske tennispallon liike-energia, kun pallon massa on $m = 0{,}052$ kg ja nopeus $v = 6{,}43$ m/s.

Huomaa!

Fysiikan tehtävissä käsitellään mittaustuloksia, jotka ovat aina likiarvoja. Matematiikan sääntöjen mukaan laskutoimituksissa pitäisi valtaosa yhtäsuuruusmerkeistä korvata pyöristysmerkeillä. Fysiikan laskutoimituksissa on vakiintunut tapa käyttää pyöristysmerkkejä vain osoittamaan lukuarvon pyöristystä.

Ratkaisu

$m = 0{,}052$ kg, $v = 6{,}43$ m/s
Pallon liike-energian arvo saadaan sijoittamalla annettuun liike-energian lausekkeeseen suureiden tunnetut arvot

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}052\,\text{kg} \cdot \left(6{,}43\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$= 1{,}074\,9674\,\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} \qquad 1\,\frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} = 1\ \text{J}$$

$$= 1{,}0749674\ \text{J} \approx 1{,}1\ \text{J}.$$

Pallon massa on ilmoitettu kahden ja nopeus kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella, joten lopputulos on ilmoitettava kahden merkitsevän numeron tarkkuudella.

Vastaus

Pallon liike-energia on 1,1 J.

Esimerkki 4 — Kerrannaisyksiköt

Kuun keskietäisyys Maasta on $4{,}07 \cdot 10^8$ m ja pienimpien solujen läpimitta on noin 10^{-7} m.
Ilmaise nämä suureiden arvot kerrannaisyksiköiden avulla.

Ratkaisu

Kuun keskietäisyys Maasta on
$4{,}07 \cdot 10^8$ m = $407 \cdot 10^6$ m = 407 Mm.

Pienen solun läpimitta on
10^{-7} m = $1 \cdot 10^{-7}$ m = $100 \cdot 10^{-9}$ m = 100 nm.

Esimerkki 5 — Laskimen käyttö

Tärykalvon pinta-ala on noin 45 mm^2. Kuinka suuri paine on korvassa, jos tärykalvoon kohdistuu $90{,}0 \cdot 10^{-8}$ N:n suuruinen voima?
Paine p lasketaan yhtälöstä $p = \frac{F}{A}$, jossa F on voima ja A pinta-ala.

Ratkaisu

$A = 45\ \text{mm}^2$, $F = 90{,}0 \cdot 10^{-8}\ \text{N}$

Pinta-ala on ilmoitettu neliömillimetreinä, joten se tulee muuntaa neliömetreiksi.

Koska

$1\ \text{mm} = 0{,}001\ \text{m} = 10^{-3}\ \text{m}$, niin

$1\ \text{mm}^2 = (10^{-3}\ \text{m})^2 = 10^{-6}\ \text{m}^2$.

Siten $A = 45\ \text{mm}^2 = 45 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$.

Paine on $p = \frac{F}{A}$.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{90{,}0 \cdot 10^{-8}\,\text{N}}{45 \cdot 10^{-6}\,\text{m}^2} = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Vastaus

Paine on $2{,}0 \cdot 10^{-2}\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

Esimerkki 6 — Laskimen käyttö

Maan massa on $5{,}974 \cdot 10^{24}$ kg ja Kuun massa on $7{,}348 \cdot 10^{22}$ kg. Kuinka monta prosenttia Maan massa on Maa–Kuu-systeemin kokonaismassasta?

Ratkaisu

$m_{\text{Maa}} = 5{,}974 \cdot 10^{24}\ \text{kg}$, $m_{\text{Kuu}} = 7{,}348 \cdot 10^{22}\ \text{kg}$

Maan ja Kuun yhteinen massa on

$m_{\text{Maa}} + m_{\text{Kuu}}$.

Verrataan Maan massaa yhteiseen massaan.

Tulos saadaan lausekkeesta

$$\frac{m_{\text{Maa}}}{m_{\text{Maa}} + m_{\text{Kuu}}} \cdot 100\ \%$$

Sijoitetaan lukuarvot

$$\frac{m_{\text{Maa}}}{m_{\text{Maa}} + m_{\text{Kuu}}} \cdot 100\ \% = \frac{5{,}974 \cdot 10^{24}\,\text{kg}}{5{,}974 \cdot 10^{24}\,\text{kg} + 7{,}348 \cdot 10^{22}\,\text{kg}} \cdot 100\ \% = 98{,}7849\,\% \approx 98{,}78\,\%$$

Vastaus

Maan massa on 98,78 % Maa–Kuu-systeemin kokonaismassasta.

3 Tehtävät — Perustehtävät

16. Perhe ajoi autolla mökille, jonne oli matkaa 120 km. Keskinopeus matkalla oli 78 km/h.

a) Laske, kuinka pitkän matkan perhe kulki puolessa tunnissa. Matka s saadaan lausekkeesta $s = vt$, jossa v on nopeus ja t on aika.

b) Laske kuinka kauan matka kesti. Aika t saadaan laskettua lausekkeesta $t = \frac{s}{v}$, jossa s on matka ja v on nopeus. Esim. 1

17. Kappaleen paino G saadaan kaavasta $G = mg$, jossa m on kappaleen massa ja g on putoamiskiihtyvyys ($g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$). Laske mehutölkin paino, kun tölkin massa on 250 g. Esim. 1

18. Laske

a) kaalimaan pinta-ala, kun kaalimaan pituus 3,7 m ja leveys 1,2 m

b) lounaan hinta dollareina, kun hinta euroina on 3,75 € ja yksi euro on 1,4143 dollaria. Esim. 5

19. Muunna annettu tilavuus yksikköön m^3.

a) kylpyamme 520 dm^3

b) marjaämpäri 8,3 l Esim. 5

20. Kirjoita suureen arvo kymmenen potenssimuodossa.

a) maapallon halkaisija 13 000 km

b) vastasyntyneen lapsen massa 2 730 g

c) vuoden pituus sekunteina 30 600 000 s

d) Etelämantereen pinta-ala 13,9 miljoonaa km^2

e) punaisen laserin valon aallonpituus 0,000 000 647 m

f) Turun monitoimihallin tilavuus 279 000 m^3 Esim. 5

21. Radioaseman lähettämän aallon taajuus on 1 090 000 Hz. Ilmoita tämä kymmenen potenssimuodossa (10^3-monikertoina) ja muodossa MHz. Esim. 4

22. Maija pyöräili 12 000 m. Ilmoita pyöräilymatka niin, että tulos on annettu

a) yhden merkitsevän numeron tarkkuudella

b) kahden merkitsevän numeron tarkkuudella

c) kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella

d) viiden merkitsevän numeron tarkkuudella.

Vihje: Tämä tehtävä voidaan ratkaista joko kymmenpotensseilla tai etuliitteillä.

23. Kirjoita suureen arvo kerrannaisyksiköiden avulla.

a) 12 300 000 m

b) 1 532 kg

c) 0,000 023 s

d) 0,000 000 027 kg Esim. 4

24. **a)** Laske Maan säteen ja Kuun säteen suhde. Maan säde on $6{,}378 \cdot 10^6$ m ja Kuun säde $1{,}738 \cdot 10^6$ m.

b) Laske Auringon massa kertomalla sen tilavuus tiheydellä. Auringon tiheys on $1{,}409 \cdot 10^3\ \text{kg/m}^3$ ja tilavuus $1{,}412 \cdot 10^{27}\ \text{m}^3$. Esim. 6

25. Muunna annettu tilavuus yksikköön dm^3.
a) kymmenen ruokalusikallista 6,7 cm^3
b) toffeekarkin tilavuus 218 mm^3
c) lumen tilavuus talon katolla 83 m^3
d) auton polttoaineen määrä 627 dl
e) pieni juomalasi 176 ml
f) virvoitusjuomalasi 37 cl
g) saunan vesipata 32 l

26. **a)** Kuinka monta sekuntia on miljardi päivää?
b) Kuinka monta päivää on miljoona sekuntia?
c) Kuinka monta vuotta on miljardi sekuntia?

27. Etsi taulukkokirjasta tarvittavat massat ja laske, kuinka moninkertainen
a) Auringon massa on Maan massaan verrattuna
b) Maan massa on Kuun massaan verrattuna.

28. Arvioi, kuinka monta kertaa sydän keskimäärin lyö ihmisen elämän aikana.

29. Kirjoita suureen arvo kerrannaisyksiköiden avulla.
a) $13 \cdot 10^9$ m
b) $0{,}7 \cdot 10^{-9}$ s
c) $2{,}31 \cdot 10^5$ m
d) $0{,}53 \cdot 10^{-2}$ s

30. Laske protonin massan ja elektronin massan suhde. Protonin massa on $1{,}6726231 \cdot 10^{-27}$ kg, elektronin massa on $9{,}1093897 \cdot 10^{-31}$ kg.

31. **a)** Kuinka monta kilometriä on yksi valovuosi?
b) Kuinka monta kilometriä on yksi AU eli tähtitieteellinen yksikkö?

32. Ilmaise suureen arvo sekä käyttäen sopivaa etuliitettä että kymmenpotenssimuodossa.
a) sinisen valon aallonpituus 0,000 000 420 m
b) kameran sulkimen aukioloaika 0,000 5 s

33. Rakennustyömaalla käytettävän juntan massa on $m = 45$ kg. Junttaa nostetaan tasaisella nopeudella matka $s = 13{,}5$ m ajassa $t = 32$ s. Laske laskutoimitus ja anna vastaus oikealla tarkkuudella.
a) juntan nopeus $v = \frac{s}{t}$
b) juntan liikemäärä $p = m\frac{s}{t}$
c) juntan liike-energia $E = \frac{1}{2}m(\frac{s}{t})^2$

4 Mallit kuvaavat todellisuutta

Fysiikassa mallit ovat yksinkertaistuksia tutkittavasta kohteesta. Malli laaditaan mittaustiedon ja ennalta tunnetun tiedon perusteella.

Salama on monimutkainen luonnonilmiö. Salamaa kuvataan sähköopin, lämpöopin ja valo-opin mallien avulla.

Mallit ovat yksinkertaistuksia

Monet luonnon tapahtumat ja rakenteet ovat monimutkaisia. Ne sisältävät lukemattoman määrän yksityiskohtia, joiden kaikkien huomioiminen on mahdotonta. Osasta luonnon rakenteita ihminen ei pysty tekemään havaintoja ilman apuvälineitä. Monimutkaisten tapahtumien ja rakenteiden selventämiseksi ja ymmärtämiseksi käytetään fysiikassa yksinkertaistuksia, joita kutsutaan **malleiksi**.

Mittaustulokset voidaan esittää koordinaatistossa

Malli voi olla esimerkiksi koordinaatistoon piirretty suora. Fysiikassa suureiden välinen riippuvuus esitetään usein koordinaatistossa. Tarkastellaan koetta, jossa on mitattu veden ja hiekan massan riippuvuutta tilavuudesta. Kokeella haluttiin selvittää, miten veden ja hiekan massa muuttuu, kun tilavuutta muutetaan. Mittauksista saatiin taulukoiden 1 ja 2 mukaiset tulokset.

Ennen kuin kuvaaja piirretään, selvitetään, kumpi suureen arvoista esitetään koordinaatiston vaaka- ja kumpi pystyakselilla. Suuretta, jonka riippuvuutta toisen suureen arvoista tutkitaan, kutsutaan **riippuvaksi suureeksi**. Tässä tutkimuksessa riippuva suure on massa. Mittaustilanteessa tämä näkyy niin, että hiekan ja veden tilavuutta muutetaan ja massat mitataan punnitsemalla. Havaitaan, että hiekan ja veden massat kasvavat, kun tilavuutta kasvatetaan.

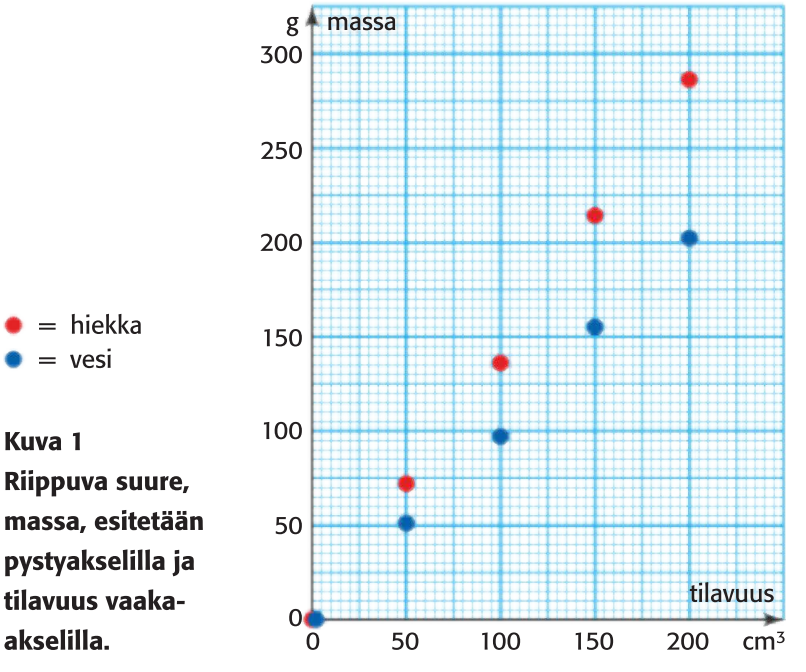
Riippuva suure esitetään koordinaatiston pystyakselilla. Tässä mittauksessa massan arvot ovat siten pystyakselilla ja tilavuuden arvot vaaka-akselilla. Kun akselit on valittu, niin mittaustulokset voidaan siirtää koordinaatistoon.

Taulukko 1
Veden tilavuus ja massa

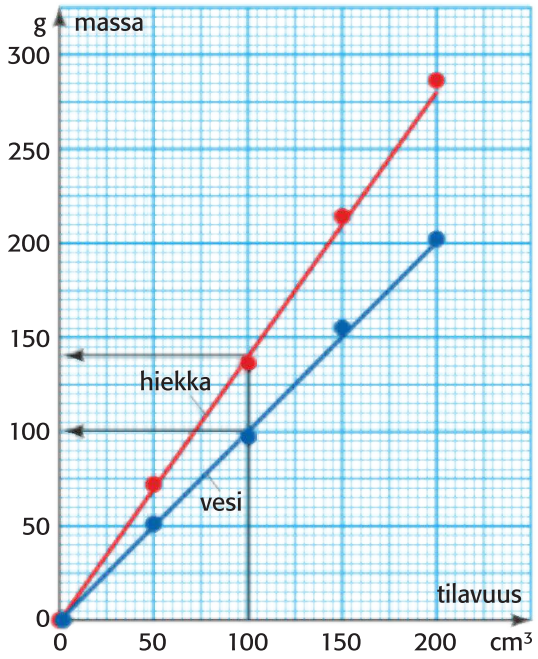
tilavuus (cm^3)	massa (g)
0	0
50	51
100	97
150	155
200	202

Taulukko 2
Hiekan tilavuus ja massa

tilavuus (cm^3)	massa (g)
0	0
50	72
100	136
150	214
200	286



Kuva 1
Riippuva suure, massa, esitetään pystyakselilla ja tilavuus vaaka-akselilla.



Kuva 2
Hiekka on tiheämpää kuin vesi. Jos hiekan tilavuus on 100 cm³, sen massa on 140 g. Vastaavan vesimäärän massa on 100 g. Mitä jyrkempi suora on, sitä tiheämpää on aine.

Koordinaatistoon piirretty kuvaaja on graafinen malli

Laaditaan seuraavaksi **graafinen malli** siitä, miten veden ja hiekan massat riippuvat tilavuudesta. Graafisessa mallissa suureiden välinen riippuvuus esitetään koordinaatistoon merkittyjen pisteiden tai kuvaajien avulla.

Sovitetaan sekä hiekan että veden pistejoukkoihin suora eli piirretään mahdollisimman hyvin pistejoukkojen keskellä kulkevat suorat (kuva 2). Suora piirretään niin, että pisteet ovat keskimäärin yhtä kaukana suoran yläpuolella ja alapuolella. Näin tehdään siksi, että yksittäiset mittausvirheet saadaan suljettua pois. Tätä toimenpidettä sanotaan **graafiseksi tasoitukseksi**.

Suora piirretään kulkemaan origon kautta, sillä jos kappaleen tilavuus on nolla, sen massakin on nolla. Mittaustulokset näyttävät asettuvan piirretyille suorille hyvin. Tämän perusteella voidaan päätellä, että massa on molemmissa tapauksissa suoraan verrannollinen tilavuuteen. Suoraan verrannollisuus tarkoittaa, että kun tilavuus kaksinkertaistuu, myös massa kaksinkertaistuu.

Jos suureet ovat suoraan verrannollisia eli kasvavat samassa suhteessa, graafinen malli on suora.

Kaava on matemaattinen malli

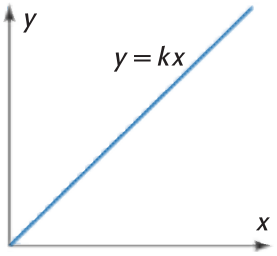
Kaavat eli täsmällisemmin suureyhtälöt ovat yleisin tapa ilmaista suureiden välisiä riippuvuuksia kuvaavia **matemaattisia malleja**.

Sekä veden että hiekan massan riippuvuutta tilavuudesta kuvaa origon kautta kulkeva suora. Suureiden riippuvuutta voidaan siksi kuvata mallilla, jonka mukaan massa on suoraan verrannollinen tilavuuteen. Tämän mallin yhtälö on $m = kV$.

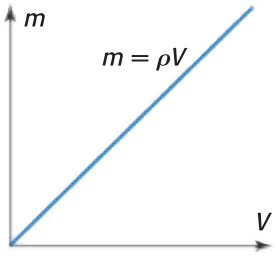
Yhtälössä oleva kerroin k on kuvaajasuoran kulmakerroin. Tutkimuksen kohteena on fysikaalinen tapahtuma, joten kulmakertoimellakin on nyt yksikkö. Tällaista kulmakerrointa sanotaan **fysikaaliseksi kulmakertoimeksi**. Kulmakertoimen arvo kuvaa tässä tapauksessa aineen **tiheyttä** ρ (roo) ja sen yksikkö on kg/m³. Mitä jyrkempi suora on, sitä suurempi sen kulmakerroin on ja sitä suurempi on myös määritetty suureen arvo.

Aineen tiheyttä kuvaava matemaattinen malli voidaan kirjoittaa muotoon: $m = \rho V$. Tiheyden määrittelevä yhtälö saadaan jakamalla edellisen yhtälön molemmat puolet tilavuudella, jolloin saadaan

$$\rho = \frac{m}{V}.$$



***y* on suoraan verrannollinen *x*:ään.**

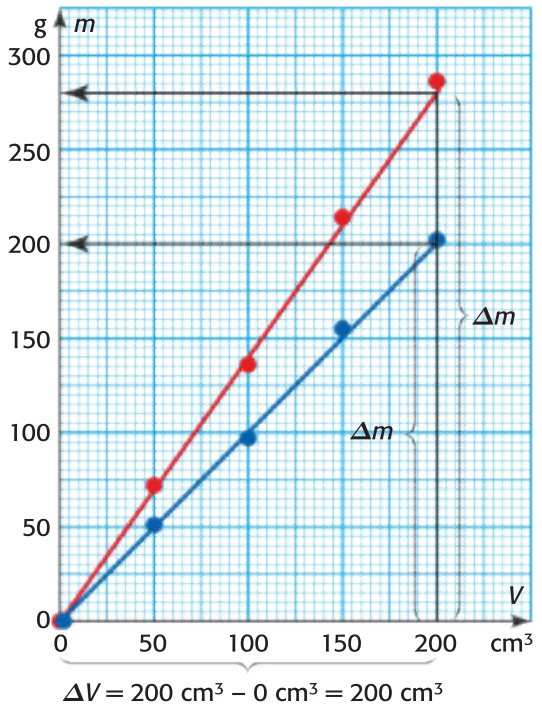


***m* on suoraan verrannollinen *V*:hen.**

Kun kahden suureen välistä riippuvuutta kuvaa suora, voidaan suoran fysikaalisen kulmakertoimen avulla määritellä uusi suure.

Aineen tiheys on kappaleen massan ja tilavuuden suhde
$\rho = \frac{m}{V}$.

Tiheyden yksikkö kg/m³ voidaan ilmaista myös muodossa g/cm³.



Kun suora kulkee origon kautta, kulmakertoimen määrittämiseksi riittää, kun luetaan suoralta yhden pisteen arvot origon lisäksi.

Suureen arvo voidaan määrittää graafisen mallin avulla

Suoran kulmakertoimen arvon määrittämiseksi valitaan suoralta kaksi pistettä. Jos suora kulkee origon kautta, toiseksi pisteeksi kannattaa ottaa origo. Toiseksi pisteeksi kannattaa valita kaukana origosta suoralla oleva piste, jolloin kulmakertoimen arvo saadaan määritettyä tarkemmin kuin jos pisteet ovat lähellä toisiaan.

Fysikaalisen kulmakertoimen määrittämiseen ei saa käyttää mitattuja arvoja, koska niitä vastaavat pisteet eivät mittaustarkkuudesta johtuen välttämättä ole piirretyllä suoralla.

Suureen muutos lasketaan vähentämällä suureen jälkimmäisestä arvosta suureen edellinen arvo. Muutoksen tunnus on Δ (delta). Esimerkiksi jos mittalasi on aluksi tyhjä ja lopuksi siellä on vettä 200 cm^3, tilavuuden muutos on

$$\Delta V = V_2 - V_1$$
$$= 200\ cm^3 - 0\ cm^3 = 200\ cm^3.$$

Veden tiheys: Piste (200 cm^3, 200 g) on vettä vastaavalla suoralla. Veteen liittyvän suoran $m = \rho V$ kulmakertoimen arvoksi eli veden tiheydeksi saadaan siten

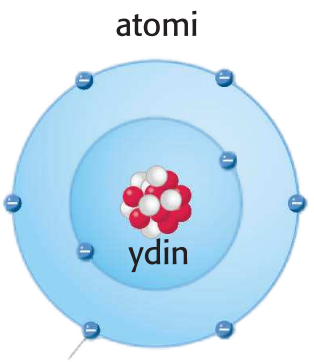
$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m_2 - m_1}{V_2 - V_1}$$
$$= \frac{200\ g - 0\ g}{200\ cm^3 - 0\ cm^3} = 1{,}0\,\frac{g}{cm^3}.$$

Hiekan tiheys: Vastaavasti piste (200 cm^3, 280 g) on hiekkaa vastaavalla suoralla, joten hiekan tiheydeksi saadaan

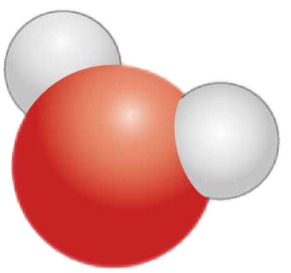
$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m_2 - m_1}{V_2 - V_1}$$
$$= \frac{280\ g - 0\ g}{200\ cm^3 - 0\ cm^3} = 1{,}4\,\frac{g}{cm^3}.$$

Samaa kohdetta voidaan mallintaa eri tavoin.

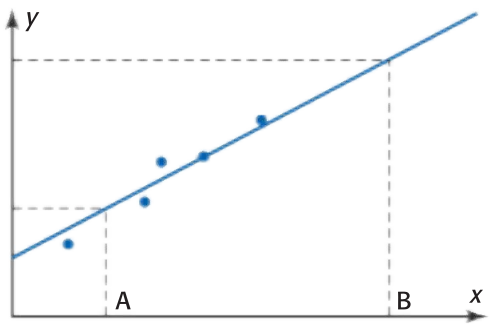
Atomimalli kuvaa happiatomin rakennetta.



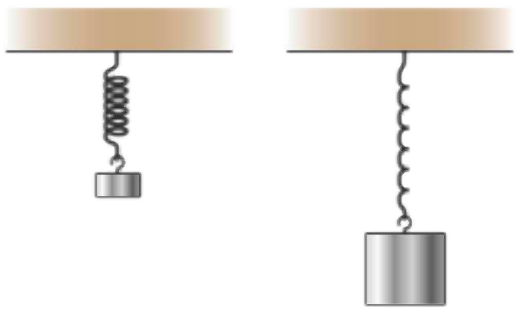
Pallomalli kuvaa happiatomin asemaa vesimolekyylissä.



Jääkuutiota voidaan kuvata ilman tietoa atomeista.



Kun arvot luetaan kuvaajalta tunnettujen arvojen väliltä, saadaan luotettavia arvoja (A). Jos arvot luetaan pistejoukon ulkopuolelta (B), luettavat arvot voivat olla epäluotettavia.



Mallin pätevyysalue on rajallinen. Jos jousta venyttävä voima kasvaa liian suureksi, malli $F = kx$ ei enää päde.

Malleilla on pätevyysalue

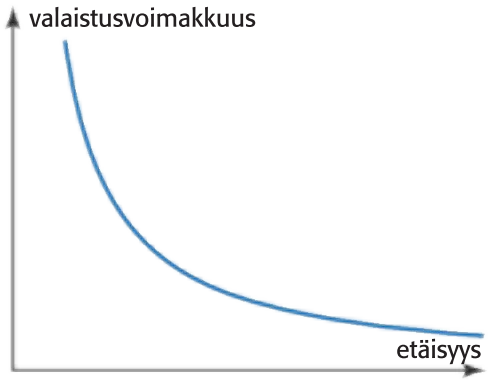
Jokaisella mallilla on jokin **pätevyysalue**, jonka ulkopuolella sitä ei voi käyttää. Tiheyden mallin pätevyysalue on varsin laaja. Tiheys on käyttökelpoinen suure aina silloin, kun aine on tasa-aineista eli homogeenista.

Graafisen mallin kuvaajalta voidaan lukea toisen suureen arvo, kun toisen suureen arvo tunnetaan. Jos arvot luetaan mittausten perusteella tehtyjen arvojen välistä, saadaan yleensä luotettavia ennusteita suureiden arvoille. Sen sijaan kuvaajalta luettavat arvot saattavat olla epäluotettavia, jos liikutaan alueella, josta mittaustuloksia ei ole.

Jousen venymän riippuvuutta vetävästä voimasta kuvataan mallilla $F = kx$. Mallissa F on vetävä voima, k on vakio, joka kuvaa jousen jäykkyyttä ja x jousen venymä. Kun venymä on pieni, malli toimii hyvin. Jos vetävä voima on liian suuri, jousi ei enää palaudu venytyksestä ja voi jopa katketa. Tässä tapauksessa malli ei enää kuvaa venymää oikein.

Koordinaatistoon sijoitetut pisteet eivät aina asetu suoralle. Siihen voi olla useita syitä. Mittaamiseen liittyy aina epätarkkuutta, joten saadut mittaustulokset voivat poiketa merkittävästi ”oikeasta” arvosta. Voi myös olla, että suora kuvaa suureiden välistä riippuvuutta huonosti tai ei sovi riippuvuuden kuvaamiseen ollenkaan. Esimerkiksi valaistusvoimakkuuden riippuvuutta valolähteen etäisyydestä ei voi kuvata suoralla.

Jos yksinkertaisen mallin ennusteet eivät ole riittävän tarkkoja, mallia on tarkennettava. Mallista tulee silloin yleensä monimutkaisempi.



Valaistusvoimakkuus pienenee, kun etäännytään katulampusta. Valaistusvoimakkuuden riippuvuutta lampun etäisyydestä kuvaa laskeva käyrä, ei suora.

Mallin avulla havainnollistetaan ja tehdään ennusteita

Tutkittavasta kohteesta tehtyjä havaintoja voidaan selittää ja yksinkertaistaa mallien avulla. Mallien avulla voidaan myös tehdä ennusteita. Mallit pätevät tietyissä olosuhteissa ja tietyllä tarkkuudella. Atomi on niin pieni, että sen rakennetta ei pystytä näkemään yksityiskohtaisesti millään laitteilla. Atomimallin avulla voidaan kuitenkin ennustaa esimerkiksi alkuaineiden ominaisuudet. Myös tähtien rakenne ja elinkaari tunnetaan hyvin, vaikka niistä saadaan tietoa ainoastaan tähdestä tulevan säteilyn avulla.

Tiivistelmä

- Mallit ovat yksinkertaistuksia tutkittavasta kohteesta.
- Mallien avulla voidaan selittää ja konkretisoida havaintoja sekä tehdä ennusteita.
- Mallit pätevät tietyissä olosuhteissa ja tietyllä tarkkuudella.
- Jos tarkasteltavat suureet ovat suoraan verrannollisia, matemaattisen mallin kuvaaja on suora.

Esimerkki 1 — Graafisesta mallista lukeminen

Laura lähti kävelylenkille. Käveltyään 12 minuuttia hän oli edennyt kilometrin, 17 minuutin kuluttua 1,5 kilometriä ja 28 minuutin kuluttua 2,5 kilometriä. Selvitä sopivaa graafista esitystä käyttäen:

a) **Kuinka kauan Lauralta kesti kävellä kaksi kilometriä?**

b) **Kuinka pitkän matkan Laura eteni 50 minuutissa?**

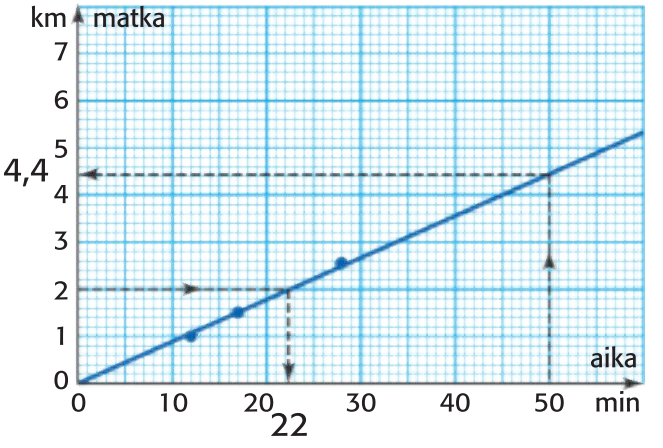
Huomaa!

a-kohdan ratkaisu on saatu mittausten välistä olevien arvojen avulla eli interpoloimalla.

b-kohdan ratkaisu on saatu alueelta, jossa mittaustuloksia ei ole eli ekstrapoloimalla. On epävarmaa arvioida, kävelikö Laura 50 minuutissa 4,4 km, koska tehtävän tietojen perusteella ei edes tiedetä, kävelikö hän yli 2,5 km.

Ratkaisu

Sijoitetaan tunnetut arvot koordinaatistoon, jonka vaaka-akselina on matkaan käytetty aika ja pystyakselina kuljettu matka. Sovitetaan pisteisiin origon kautta kulkeva suora.



a) Suoralta voidaan lukea, että Laura oli kahden kilometrin kohdalla hetkellä 22 minuuttia.

b) Suoralta voidaan lukea, että hetkellä 50 minuuttia Laura oli edennyt 4,4 km.

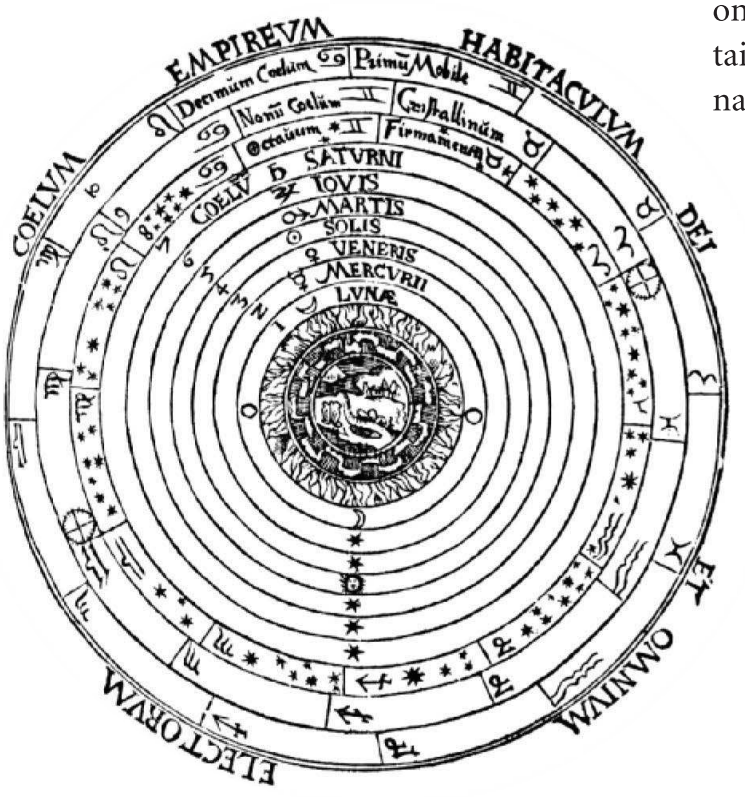
Vastaus

a) Laura käveli kaksi kilometriä 22 minuutissa.

b) 50 minuutissa Laura käveli 4,4 km.

Esimerkki 2 — Mailmankaikkeuden historiallisia malleja

Millaisia malleja maailmankaikkeuden rakenteesta on ollut historiassa?



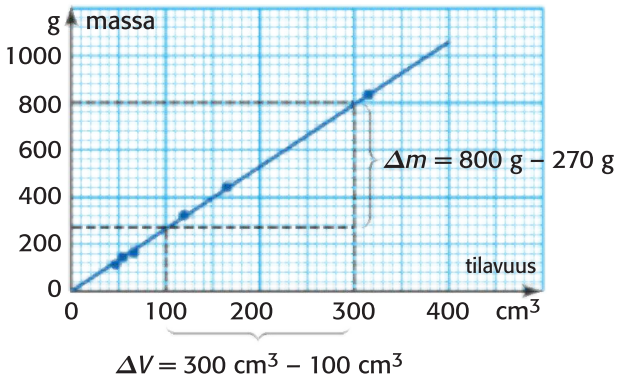
Ratkaisu

Monilla kansoilla, myös muinaissuomalaisilla oli käsitys, että Maa on litteä. Maata ympäröi taivaankansi, jossa on reikiä. Näistä rei'istä taivaankannen ulkoinen valo pääsee Maahan. Taivaankantta kannatteli suuri puu tai pylväs.

Kreikkalaisen filosofin Aristoteleen mukaan nimetyssä mallissa Maa sijaitsi maailman keskipisteessä. Maata ympäröivät taivaanpallot, joilla kiertotähdet eli planeetat olivat. Kiintotähtien pallo muodosti maailmankaikkeuden sisälleen sulkevan uloimman kuoren, jonka ulkopuolella ei ollut enää mitään.

Esimerkki 3 — Matemaattisen mallin soveltaminen

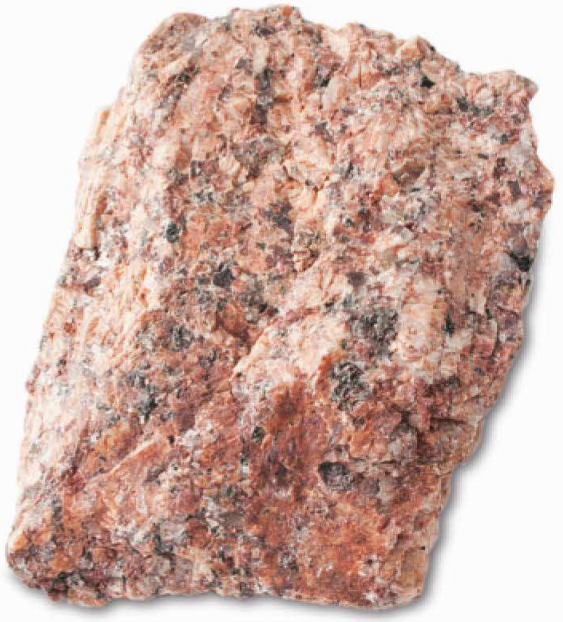
a) Määritä alla olevan esityksen avulla graniitin tiheys kahden pisteen avulla, joista kumpikaan ei ole origo.



b) Kuinka suuri massa on graniittikivellä, jonka tilavuus on 0,67 m³?

Huomaa!

Massan laskemisessa käytetään a-kohdassa saatua tiheyden arvoa, jota ei ole pyöristetty.



Ratkaisu

a) Valitaan suoralta toiseksi pisteeksi (300 cm^3, 800 g) ja toiseksi (100 cm^3, 270 g). Näiden pisteiden perusteella laskettuna tiheys on

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m_2 - m_1}{V_2 - V_1}$$

$$= \frac{800\ \text{g} - 270\ \text{g}}{300\ \text{cm}^3 - 100\ \text{cm}^3}$$

$$= 2{,}65\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \approx 2{,}7\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

b) Kiven tilavuus $V = 0{,}67\ \text{m}^3$ ja graniitin tiheys $\rho = 2{,}65\ \text{g/cm}^3 = 2\,650\ \text{kg/m}^3$.
Kiven massa voidaan laskea tiheyden yhtälöstä.
Kerrotaan yhtälö puolittain tilavuudella V

$$\rho = \frac{m}{V} \quad |\cdot V$$

$$\rho V = m$$

$$m = \rho V$$

Sijoitetaan tunnetut arvot yhtälöön

$$m = 2650\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0{,}67\ \text{m}^3$$

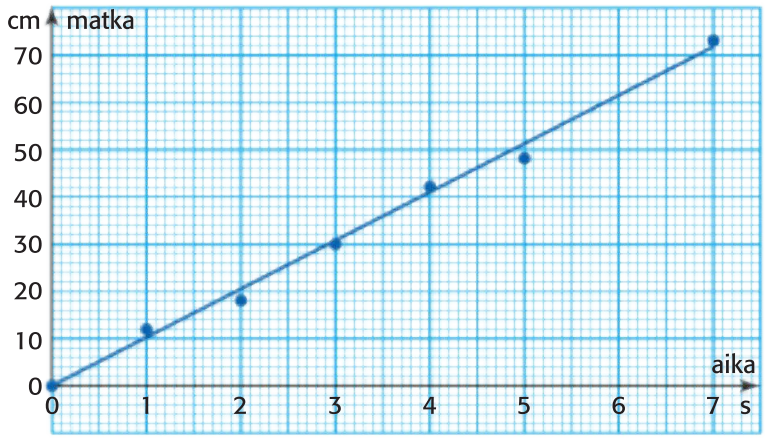
$$= 1775{,}5\ \text{kg} \approx 1\,800\ \text{kg}.$$

Kiven massa on 1 800 kg.

Vastaus

a) Graniitin tiheys on 2,7 g/cm^3.
b) Kiven massa on 1 800 kg.

34. Kuvaaja esittää ilmakuplan liikettä kallistetussa putkessa.



a) Kuinka pitkän matkan kupla kulkee kolmessa sekunnissa?

b) Milloin kupla on edennyt lähtöpisteestä etäisyydelle 0,6 m? Esim. ①

35. Oppilaat mittasivat nesteen massan riippuvuutta tilavuudesta. Mittaustulokset ovat taulukossa.

Tilavuus (ml)	Massa (g)
15	11,9
22	17,4
31	24,5
39	30,8
46	36,3
57	45,0

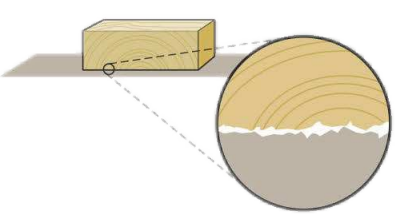
a) Kumpi mitatuista suureista on riippuva suure?

b) Kumpi suureista tulee pystyakselille?

c) Esitä mittaustulokset tilavuus–massa-koordinaatistossa ja määritä nesteen tiheys. Etsi taulukkokirjasta, mitä ainetta tutkittava neste saattoi olla. Esim. ③

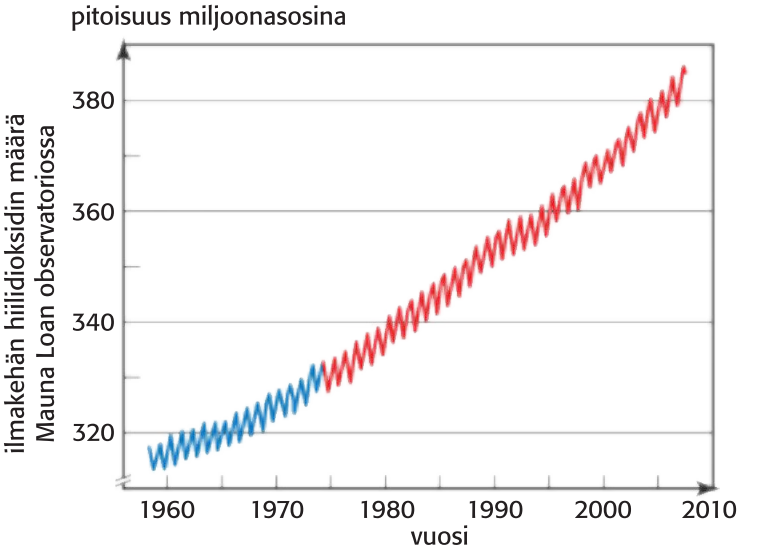
36. Mikä mallin tehtävä on seuraavissa esimerkeissä.

a) Kitkan malli



b) Auto

37. Kuvaaja esittää hiilidioksidin määrää ilmakehässä Havaijilla.



Lähde: Ilmatieteenlaitos

a) Miten hiilidioksidin määrää ilmakehässä on muuttunut?

b) Voidaanko tilaston perusteella tehdä ennusteita, miten hiilidioksidin määrä muuttuu tulevaisuudessa?

38. Kylpyhuoneen tippuvan hanan alle pantiin mittalasi ja lasissa olevan veden määrä luettiin kolmen minuutin välein. Ensimmäisten 18 minuutin mittaustulokset on esitetty taulukossa. Esitä mittaustulokset aika–tilavuus-koordinaatistossa, ja tutki graafista esitystä hyväksi käyttäen, kuinka paljon vettä tippuu hanasta

a) tunnissa

b) vuorokaudessa. Esim. ①

Aika (min)	Tilavuus (ml)
3	4
6	8
9	13
12	17
15	22
18	26

39. Onko väite tosi? Korjaa virheelliset väittämät tosiksi.

a) Mallin avulla yksinkertaistetaan tutkittavia kohteita.

b) Malli kuvaa täydellisesti kohdettaan.

c) Malli voi olla piirros tutkittavasta kohteesta.

d) Matemaattinen yhtälö ei ole fysikaalinen malli.

40. Taulukossa on esitetty olympialaisten seiväshypyn voittotulokset vuoteen 1996 asti. Merkitse voittotulokset koordinaatistoon vuosiluvun funktiona ja sovita pisteisiin suora. Esim. 1

Vuosi	Voitto-tulos (cm)	Vuosi	Voitto-tulos (cm)	Vuosi	Voitto-tulos (cm)
1896	325	1932	424	1972	541
1900	325	1936	428	1976	541
1904	344	1948	423	1980	568
1908	365	1952	447	1984	565
1912	388	1956	448	1988	593
1920	402	1960	462	1992	570
1924	388	1964	501	1996	592
1928	413	1968	531		

a) Pekingin olympialaisissa vuonna 2008 seiväshypyn voittotulos oli 598 cm. Selvitä laatimallasi mallilla, ennustiko se voittotuloksen oikein.
b) Arvioi, kuinka luotettava malli on.

41. Oppilaat mittasivat, miten heilurin heilahdusaika riippuu heilurin pituudesta. Tulokset on esitetty taulukossa. Kuvaako matemaattinen malli, jonka kuvaaja on suora, hyvin heilahdusajan riippuvuutta heilurin pituudesta. Esim. 1

Heilurin pituus (cm)	Heilahdusaika (s)
6,5	0,51
11,0	0,67
13,2	0,73
15,0	0,79
18,1	0,89
23,0	0,98
24,4	1,01
26,6	1,08
30,6	1,13
34,3	1,25
37,5	1,28
41,5	1,33

42. Alla on esitetty Nokian pörssikurssin kehitys.

Lähde: Kauppalehti

a) Miten pörssikurssi kehittyi maaliskuussa 2010?
b) Millaista pörssikurssin kehitys oli elokuussa 2010?
c) Voidaanko kuvaajan perusteella ennustaa pörssikurssin kehitystä tulevaisuudessa?

43. Elohopean tiheys on 13 540 kg/m^3. Kuinka suuren tilavuuden vie 10,0 kg elohopeaa? Esim. 3

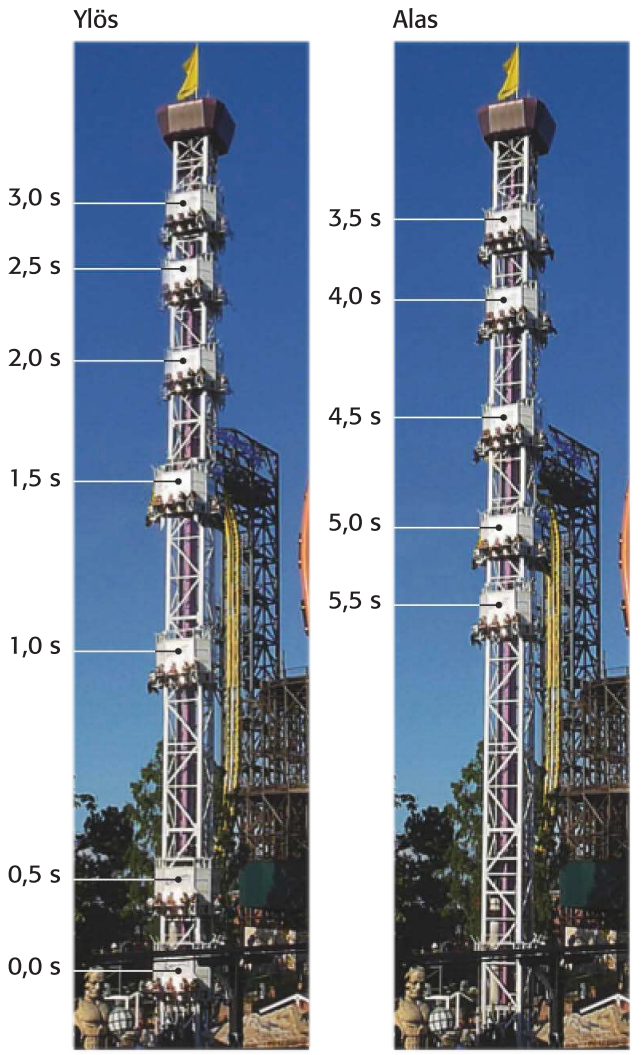
44. Uppotukin pituus on 6,2 m ja sen keskimääräinen halkaisija on 42 cm. Uppotukin tiheys on lähes sama kuin veden tiheys. Mikä on uppotukin massa?

45. Talon pituus on 13,5 m, leveys 6,8 m, harjan korkeus 6,2 m ja sivuseinien korkeus 4,2 m. Ilman tiheys on 1,3 kg/m^3. Kuinka monta kilogrammaa ilmaa talossa on? Esim. 3

46. Tutki kotona
a) Tutki, miten superpallon ensimmäisen pompun korkeus riippuu pudotuskorkeudesta.
b) Tutki, miten superpallon pomppimisaika riippuu pudotuskorkeudesta.

47. Tiedonhankintatehtävä
Selvitä, miten Kopernikus muutti käsitystä Aurinkokunnan rakenteesta.

5 Liikkeessä paikka muuttuu



Kuvissa on Linnanmäen Raketti-laitteen istuinten paikka kuvattuna puolen sekunnin välein.

Liikettä kuvataan eri tavoin

Melkein kaikkiin luonnon ilmiöihin liittyy liikettä: vesi virtaa joessa, valo etenee Auringosta maapallolle. Siksi liikkeen kuvaamiseen ja selittämiseen tarvittavat käsitteet ovat fysiikan peruskäsitteitä.

Liikettä kuvataan ilmaisemalla kappaleen paikka eri ajanhetkinä. Tämä voidaan tehdä käyttämällä kuvia, taulukoita, kuvaajia tai matemaattisia lausekkeita.

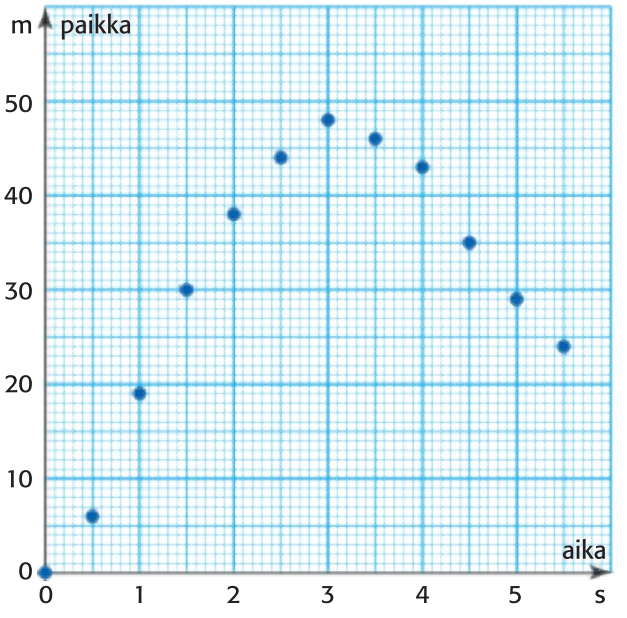
Liike voidaan esittää kuvassa, johon kappaleen paikka on merkitty aina yhtä pitkien ajanjaksojen välein. Mitä kauempana peräkkäiset paikat ovat toisistaan, sitä nopeammin kappale liikkuu. Kuvassa on esitetty tällä tavoin rakettilaitteen liikettä.

Kun kappaleen paikka tiedetään joinakin ajanhetkinä, voidaan näistä tiedoista tehdä taulukko. Nämä tiedot voidaan esittää myös pisteinä **aika–paikka-koordinaatistossa**. Siinä vaaka-akselilla on ajan arvot ja pystyakselilla paikan arvot. Pisteisiin sovitettu kuvaaja esittää kappaleen liikettä. Tällaista kuvaaja sanotaan **kappaleen paikan kuvaajaksi**.

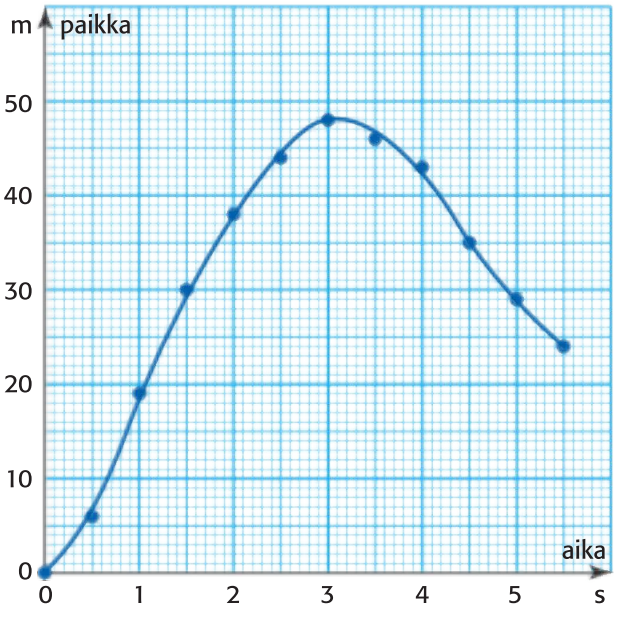
Erityisesti on huomattava, että aika–paikka-koordinaatistossa kuvaaja ei esitä kappaleen kulkemaa reittiä, vaan paikan muuttumista ajan kuluessa.

Aika (s)	Paikka (m)
0,0	0
0,5	6
1,0	19
1,5	30
2,0	38
2,5	44
3,0	48
3,5	46
4,0	43
4,5	35
5,0	29
5,5	24

Taulukossa on esitetty istuinten paikka eri ajanhetkinä.



Kuvaan on merkitty Linnanmäen rakettilaitteen istuinten paikka kuvattuna puolen sekunnin välein.



Havaintopisteisiin on sovitettu käyrä.

Keskinopeus v_k on

$v_k = \frac{s}{t}$, jossa

s on kuljettu matka ja
t siihen kulunut aika.

Keskinopeuden yhtälöstä

$v_k = \frac{s}{t}$

voidaan ratkaista kuljettu matka s

$s = v_k t$.

Nopeuden yksikkömuunnos tehdään seuraavasti:

- km/h muunnetaan yksikköön m/s jakamalla nopeuden lukuarvo 3,6:lla
- m/s muunnetaan yksikköön km/h kertomalla nopeuden lukuarvo 3,6:lla.

Keskinopeus on matka jaettuna ajalla

Kun ajetaan vuoristossa serpentiinitiellä, linnuntietä ei edetä kovin pitkälle, mutta tietä pitkin matkaa saattaa tulla kilometrejä. Matkalla nopeus muuttuu jatkuvasti, mutta autoilijalle on tärkeää tietää, miten nopeasti matka taittuu keskimäärin. Tämän ilmaisee kappaleen **keskinopeus**. Keskinopeus voidaan laskea, kun tiedetään kuinka pitkän matkan kappale on liikkunut ja kuinka paljon aikaa siihen on kulunut. Keskinopeus määritellään seuraavasti:

$$\text{keskinopeus} = \frac{\text{kuljettu matka}}{\text{matkaan kulunut aika}}.$$

Keskinopeuden yksikkö saadaan jakamalla matkan yksikkö ajan yksiköllä. SI-järjestelmässä keskinopeuden yksikkö on siten $1\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Matka on keskinopeus kertaa aika

Kun kappaleen keskinopeus v_k ja liikkumiseen kulunut aika t tunnetaan, voidaan kuljettu matka s laskea. Kuljetulle matkalle saadaan yhtälö kertomalla keskinopeuden yhtälö puolittain ajalla t.

Matka lasketaan siis kertomalla keskinopeus kuluneella ajalla.

Nopeuden yksikköjen muunnos

Nopeuden SI-yksikön $1\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ lisäksi käytetään yleisesti nopeuden yksikköä $1\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Käyttämällä tietoa, että 1 km = 1000 m ja 1 h = 3600 s, saadaan

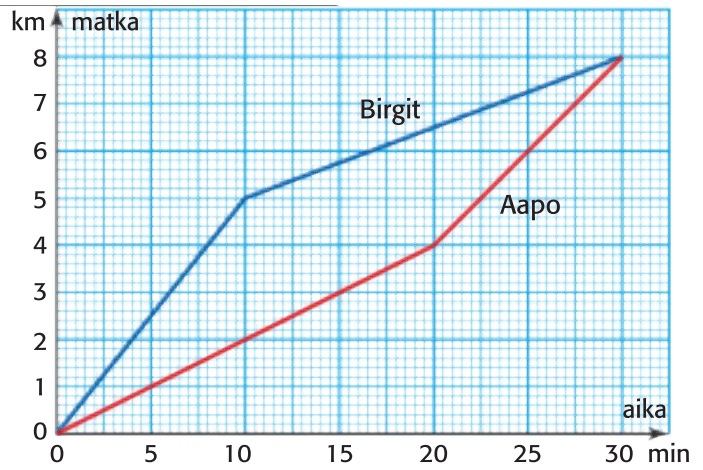
$$1\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = \frac{1}{3{,}6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Vastaavasti, kun 1 m/s lavennetaan luvulla 3600, nimittäjään tulee 3600 sekuntia eli yksi tunti, ja saadaan

$$1\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{3600\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = \frac{3{,}6\,\text{km}}{1\,\text{h}} = 3{,}6\,\frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Matkaa laskettaessa on tärkeää varmistaa, että nopeuden ja ajan yksiköt vastaavat toisiaan. Siis jos nopeus on ilmaistu käyttäen yksikköä m/s, ajan yksikön pitää olla sekunti (s), ja jos nopeuden yksikkö on km/h, pitää ajan yksikön olla tunti (h). Jos niin ei ole, pitää joko ajan tai nopeuden yksikköä muuntaa.

Joskus nopeudessa käytetään muitakin ajan yksiköitä, esimerkiksi minuutti (min) ja vuosi (a). Myös näissä tapauksissa yksikkö on muunnettava ennen kuin nopeutta käytetään laskutoimituksessa.



Kahden pyöräilijän paikan kuvaaja.

Kuvaajan jyrkkyys paljastaa nopeuden

Keskinopeus ei sisällä tietoa siitä, miten kulkija on liikkunut matkan varrella. Koordinaatistossa on esitetty kahden pyöräilijän paikan kuvaajat. Molemmat ovat kulkeneet yhtä pitkän matkan puolessa tunnissa, joten molempien keskinopeus on sama: kahdeksan kilometriä puolessa tunnissa eli kuusitoista kilometriä tunnissa.

Kuvaajista nähdään, että pyöräilijä Aapo on edennyt ensimmäisten kymmenen minuutin aikana vain kaksi kilometriä, kun taas Birgit on edennyt viisi kilometriä. Birgit on siis kulkenut tällä välillä suuremmalla keskinopeudella kuin Aapo.

Kuvaajissa eri nopeudet ilmenevät siten, että Birgitin paikan kuvaaja on ensimmäisen kymmenminuuttisen aikana jyrkempi kuin Aapon paikan kuvaaja. Mitä pidemmän matkan pyöräilijä liikkuu lyhyellä aikavälillä, sitä nopeammin hän etenee ja sitä jyrkempi on paikan kuvaaja. Mitä jyrkempi suora on, sitä suurempaa lukemaa pyörän nopeusmittari näyttää.

Erilaisia nopeuksia

	Nopeus (m/s)	Nopeus (km/h)
perhonen	1,1	4
kävelijä	1,4	5
kärpänen	3	11
maratoonari	5,3	19
pikajuoksija	11	40
pyöräilijä	14	50
joutsen (lento)	18	65
kilpahevonen	20	70
hanhi (lento)	25	90
myrskytuuli	25	90
F1-auto	100	360
muuttohaukka (syöksy)	110	390
matkustajalentokone	250	900
Hornet-hävittäjä	530	1900
avaruussukkula	8 500	30 000

Kappaleiden nopeuksien kirjo on hyvin laaja. Avaruudessa kappaleiden nopeudet ovat paljon suurempia kuin Maan päällä.

Tiivistelmä

- Keskinopeus v_k on $v_k = \frac{s}{t}$.
- Nopeuden yksikkö SI-järjestelmässä on $1\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Paikan kuvaajan jyrkkyys ilmaisee hetkellisen nopeuden.

Esimerkki 1 — Keskinopeuden laskeminen

Hiihtäjä laski mäkeä. Hiihtäjän paikka sekunnin välein on esitetty taulukossa. Mikä on hiihtäjän keskinopeus aikavälillä
a) 1,0 s – 3,0 s
b) 4,0 s – 6,0 s?

Aika (s)	Paikka (m)
0	0,0
1	1,0
2	2,5
3	4,5
4	7,5
5	10,0
6	11,5
7	12,7
8	13,7
9	14,5

Ratkaisu

a) Taulukosta nähdään, että yhden sekunnin kuluttua lähdöstä hiihtäjä on edennyt paikkaan, jonka etäisyys lähtöpisteestä on 1,0 m ja ajanhetkellä 3,0 s hiihtäjä on 4,5 metrin päässä lähtöpisteestä. Hiihtäjä on siis
kulkenut matkan $s = 4{,}5\ \text{m} - 1{,}0\ \text{m} = 3{,}5\ \text{m}$,
ja aikaa on kulunut $t = 3{,}0\ \text{s} - 1{,}0\ \text{s} = 2{,}0\ \text{s}$.

Hiihtäjän keskinopeus aikavälillä 1,0 s – 3,0 s on silloin

$$v_\text{k} = \frac{s}{t} = \frac{3{,}5\ \text{m}}{2{,}0\ \text{s}} = 1{,}75\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

b) Aikavälillä 4,0 s – 6,0 s keskinopeus on

$$v_\text{k} = \frac{s}{t} = \frac{4{,}0\ \text{m}}{2{,}0\ \text{s}} = 2{,}0\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Nyt siis aikavälillä 4,0 s – 6,0 s hiihtäjä on edennyt keskimäärin 2,0 metriä sekunnissa. Tällä aikavälillä keskinopeus on suurempi kuin aikavälillä 1,0 s – 3,0 s, sillä liike oli kiihtynyt alamäessä.

Vastaus

Hiihtäjän keskinopeus on
a) 1,8 m/s aikavälillä 1,0 s – 3,0 s ja
b) 2,0 m/s aikavälillä 4,0 s – 6,0 s.

Esimerkki 2 — Yksikön muuntaminen

Auton keskinopeus Joensuun ja Helsingin välisellä matkalla oli 69 km/h.
Ilmoita auton keskinopeus käyttäen yksikköä m/s.

Ratkaisu

Koska $1\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1}{3{,}6}\frac{\text{m}}{\text{s}}$, niin keskinopeus yksikössä m/s on

$$v_\text{k} = \frac{69}{3{,}6}\frac{\text{m}}{\text{s}} = 19{,}1667\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 19\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Vastaus

Auton keskinopeus oli 19 m/s.

Esimerkki 3 — Matkan laskeminen keskinopeuden avulla

Aiemmin tarkastellun hiihtäjän keskinopeus aikavälillä 1,0 s – 2,0 s on 1,5 m/s. Kuinka pitkälle hän etenisi 9,0 sekunnissa, mikäli tämä olisi koko mäenlaskun keskinopeus?

Ratkaisu

$v_k = 1{,}5$ m/s, $t = 9{,}0$ s

Keskinopeudella v_k etenevä hiihtäjä kulkee ajassa t matkan $s = v_k t$.

Kysytty matka olisi

$$s = v_k t$$
$$= 1{,}5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9{,}0 \text{ s} = 13{,}5 \text{ m} \approx 14 \text{ m}.$$

Vastaus

Hiihtäjä etenisi mainitulla keskinopeudella 14 m.

Esimerkki 4 — Ajan laskeminen keskinopeuden avulla

Kuinka kauan keskinopeudella 45 km/h lentävällä hanhiparvella kestää 140 km:n matka Jyväskylästä Lahteen?

Huomaa!

Tehtävän laskussa vastauksen yksiköksi tulee tunti, joka on tässä tapauksessa käyttökelpoinen ja havainnollinen yksikkö. Vastauksen desimaaliosan voi tarvittaessa muuttaa minuuteiksi:

$0{,}1111 \text{ h} = 60 \cdot 0{,}1111 \text{ min}$
$= 6{,}6667 \text{ min} \approx 7 \text{ min}.$

Ratkaisu

$v_k = 45$ km/h, $s = 140$ km

Keskinopeuden määritelmästä

$$v_k = \frac{s}{t}$$

voidaan ratkaista aika kertomalla yhtälö ensin puolittain t:llä ja jakamalla sitten puolittain v_k:lla:

$$v_k = \frac{s}{t} \quad | \cdot t$$
$$v_k t = s \quad | : v_k$$
$$t = \frac{s}{v_k}.$$

Kun saatuun lausekkeeseen sijoitetaan tunnetut lukuarvot, saadaan kysytty aika

$$t = \frac{s}{v_k}$$
$$= \frac{140 \text{ km}}{45 \text{ km/h}} = 3{,}1111 \text{ h} \approx 3{,}1 \text{ h}.$$

Vastaus

Lintujen lentomatka kestää 3,1 h.

5 Tehtävät — Perustehtävät

48. Lennokki kulkee 5,3 sekunnissa 12 m. Laske lennokin keskinopeus. Esim. ①

49. Polkupyöräilijä polki kaupunkiin keskinopeudella 23 km/h. Matka kesti 0,50 h. Kuinka pitkä matka oli kaupunkiin? Esim. ③

50. GPS-laite näytti lenkkeilijän keskinopeudeksi 2,1 m/s. Kuinka kauan kestää juosta 126 m? Esim. ④

51. Muunna nopeudet yksikköön km/h. Esim. ②
- **a)** 25 m/s
- **b)** 410 m/s

52. Muunna nopeudet yksikköön m/s. Esim. ②
- **a)** 25 km/h
- **b)** 5 400 km/h

53. Pyöräilijän etenemistä mitattiin. Taulukossa on hänen paikkansa eri ajanhetkinä.

Aika (min)	Paikka (km)
0	0
5	2
10	5
15	9
20	12
25	14
30	16

- **a)** Merkitse pisteet aika–paikka-koordinaatistoon.
- **b)** Piirrä yhtenäinen tasainen käyrä, joka kulkee mahdollisimman läheltä pisteitä.
- **c)** Kuvaile liikettä. Milloin polkupyöräilijän nopeus kasvaa?
- **d)** Laske polkupyöräilijän keskinopeus koko matkalla.

5 Tehtävät — Soveltavat tehtävät

54. Hermoston sähköimpulssit etenevät keskimäärin nopeudella 110 m/s. Kuinka kaukana aivoista lähti pulssi, joka saavutti aivot 6,8 ms:ssa?

55. Autoilijan keskinopeus on 75 km/h. Kuinka pitkän matkan hän ajaa 36 minuutissa?

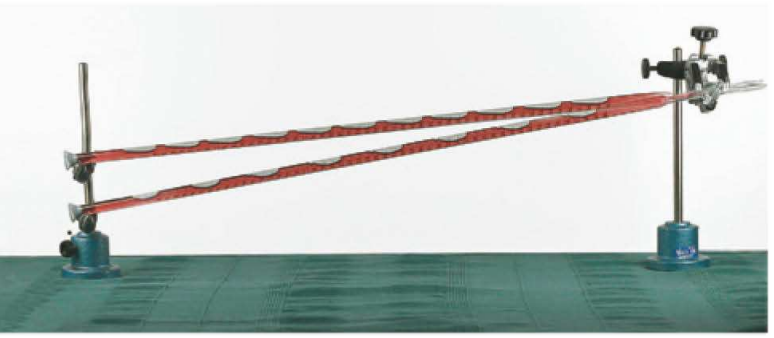
56. 100 metrin juoksun voittajan aika on 10,27 s ja toiseksi tulleen 10,40 s.
- **a)** Laske voittajan keskinopeus.
- **b)** Laske juoksijoiden välimatka hetkellä, jolloin voittaja tulee maaliin.

57. Autolla ajettiin 150 km:n matka. Ensin ajettiin 50 km puolessa tunnissa ja loput 100 km 3 tunnissa.
- **a)** Laske keskinopeus ensimmäisen 50 km:n matkalla ja 100 km:n osuudella.
- **b)** Kuinka suuri oli keskinopeus koko matkalla?

58. Tulostin tulostaa 6 A4-arkkia minuutissa. Laske paperin keskinopeus printterissä olettaen, että arkit tulevat aivan peräkkäin. Ilmoita tulos käyttäen sekä yksikköä m/s että yksikköä km/h.

59. Kestävyysjuoksija harjoittelee urheilukentällä. Valmentaja kirjaa juoksijan ajan muistiin 100 m:n välein: 17 s, 32 s, 53 s, 68 s, 87 s, 99 s, 122 s.
- **a)** Laadi graafinen esitys, joka esittää juoksijan paikkaa ajan funktiona.
- **b)** Määritä juoksijan keskinopeus harjoittelun aikana.
- **c)** Kuinka pitkän matkan juoksija juoksee 10 sekunnissa keskinopeudellaan?
- **d)** Kuinka paljon aikaa juoksija käyttää 250 metrin matkalla?

6 Tasaisessa liikkeessä kappaleen nopeus ei muutu



Ilmakuplan liike lasiputkessa on tasaista. Nopeus riippuu kallistuskulmasta.

Tasainen liike on yksi liikkeen malli

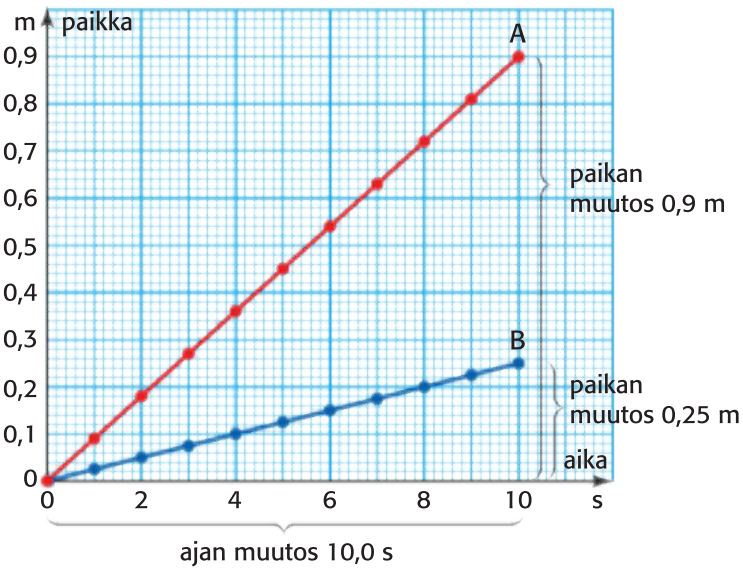
Kun kappaleen nopeus ei muutu, liike on **tasaista**. Tällöin kappaleen nopeus on vakio, ja kappale etenee jokaisena yhtä pitkänä aikavälinä aina yhtä pitkän matkan.

Monissa tilanteissa kappaleet liikkuvat melkein tasaisesti. Esimerkiksi kerrosten välillä etenevän hissin, ilmassa putoavan vesipisaran tai moottoritiellä liikkuvan auton liike on likipitäen tasaista.

Jokaisessa todellisessa liikkeessä nopeudessa tapahtuu kuitenkin muutoksia, jotka huomataan riittävän tarkassa mittauksessa. Tasainen liike on malli, jota käytetään näiden lähes tasaisten liikkeiden kuvaamiseen. Silloin kun kappaleen liikettä kuvataan tällä mallilla, kappaleen sanotaan liikkuvan tasaisesti.

Tasaisessa liikkeessä paikan kuvaaja on suora

Kun kallistetussa lasiputkessa etenevän ilmakuplan paikka mitattiin sekunnin välein kahdella eri kaltevuudella, saatiin kuvaajan esittämät tulokset.



Tuloksista huomataan, että kallistetussa lasiputkessa oleva ilmakupla etenee tasaisesti. Kuvaajista nähdään, että mittauksessa A kupla liikkui 10 sekunnissa 0,90 metriä ja mittauksessa B vain 0,25 m. Siksi suora A on jyrkempi kuin suora B.

Mitä jyrkempi suora on, sitä pidemmän matkan kupla on edennyt yhdessä sekunnissa eli sitä suurempi on kuplan nopeus. Suoran fysikaalinen kulmakerroin ilmaisee tasaisessa liikkeessä olevan kappaleen nopeuden.

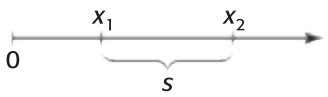
Tasaista liikettä esittävän suoran fysikaalinen kulmakerroin ilmaisee tasaisessa liikkeessä olevan kappaleen nopeuden.

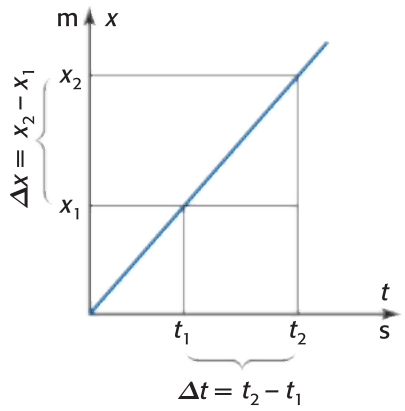
Suoran A fysikaalinen kulmakerroin on

$$k = \frac{\text{paikan muutos}}{\text{kulunut aika}} = \frac{0{,}90\ \text{m}}{10{,}0\ \text{s}} = 0{,}090\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Suoran B fysikaalinen kulmakerroin on

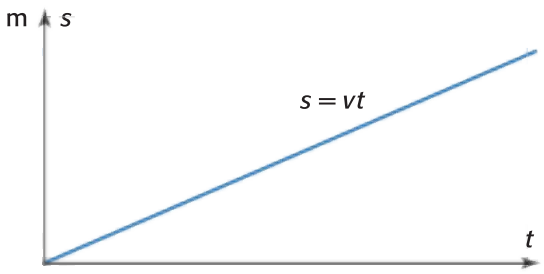
$$k = \frac{\text{paikan muutos}}{\text{kulunut aika}} = \frac{0{,}25\ \text{m}}{10{,}0\ \text{s}} = 0{,}025\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$





Huomaa!

Tämä yhtälö pitää paikkansa vain tasaiselle liikkeelle. Yhtälöä ei voi soveltaa liikkeeseen, jossa nopeus muuttuu.



Tasaisen liikkeen paikan kuvaaja on suora $s = vt$, kun liike valitaan lähtemään origosta.

Tasaisessa liikkeessä nopeus on paikan muutos jaettuna kuluneella ajalla

Tasaisessa liikkeessä kappale kulkee koko ajan samaan suuntaan, joten se liikkuu suoraviivaisesti. Tällöin kuljettu matka s on yhtä suuri kuin paikan muutos Δx.

Tasaisesti liikkuvan kappaleen nopeus saadaan laskemalla sen paikan kuvaajan kulmakerroin. Kulmakerroin lasketaan jakamalla kuljettu matka eli paikan muutos Δx matkaan kuluneella ajalla Δt. Nopeus on

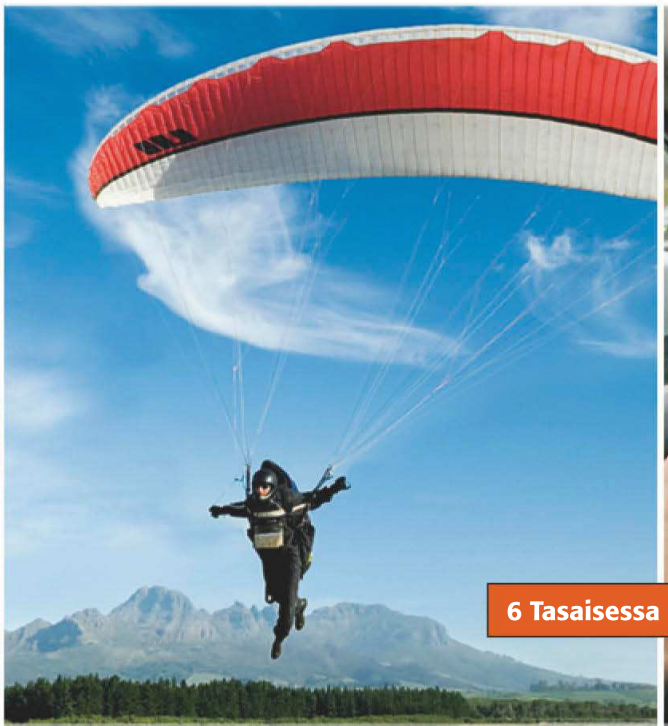
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Nopeuden laskeminen on helpointa, jos aikaväli valitaan alkamaan origosta. Silloin aikavälin pituuden ilmaisee loppuhetki t. Koska paikan muutos Δx on yhtä suuri kuin matka s, voidaan nopeus ilmoittaa myös muodossa $v = \frac{s}{t}$.

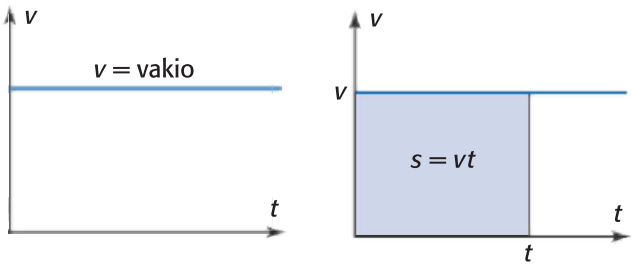
Siten tasaisessa liikkeessä kappaleen ajassa t kulkema matka on $s = vt$.

Pikajunan liike voi olla tasaista asemien välillä.

Laskuvarjohyppääjän liike on tasaista hypyn loppuvaiheessa.



Auton liike moottoritiellä on tasaista, kun vakionopeuden säädin on käytössä.



Tasaisessa liikkeessä kuljettu matka on suorakulmion fysikaalinen pinta-ala, *s = vt*.

$$s = vt \quad | : v$$

$$\frac{s}{v} = \frac{\cancel{v}t}{\cancel{v}}$$

$$\frac{s}{v} = t$$

$$t = \frac{s}{v}$$

Matka voidaan määrittää nopeuden kuvaajasta

Tasaisessa liikkeessä kappaleen nopeus ei muutu, joten kappaleen nopeuden kuvaaja on vaakasuora suora.

Tasaisen liikkeen nopeuden kuvaajasta nähdään, että nopeuden v ja ajan t tulo ilmaisee koordinaattiakselien, nopeuden kuvaajan ja ajanhetken t rajoittaman suorakulmion pinta-alan. Koska tasaisessa liikkeessä kuljettu matka $s = vt$, vastaa suorakulmion fysikaalinen pinta-ala kuljettua matkaa.

Ajan laskeminen tasaisessa liikkeessä

Kun tasaisesti liikkuvan kappaleen matkan yhtälöstä $s = vt$ ratkaistaan aika, saadaan ajalle yhtälö

$$t = \frac{s}{v}.$$

Koska ajan lausekkeessa nopeus on nimittäjässä, nopeuden kasvaessa matkaan kulunut aika pienenee. Jos nopeus kaksinkertaistuu, aika pienenee puoleen. Matkustusaika on siten kääntäen verrannollinen nopeuteen.

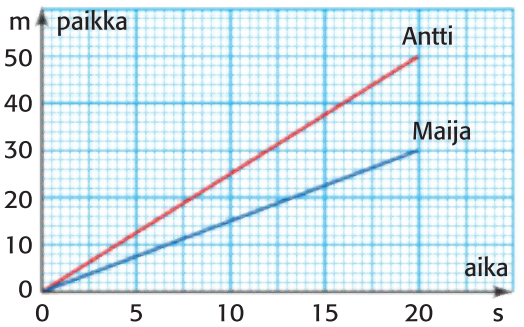
Matkustusaika on kääntäen verrannollinen nopeuteen.

Tiivistelmä

- Tasaisessa liikkeessä kappaleen nopeus on vakio.
- Paikan kuvaaja on tasaisessa liikkeessä suora, jonka fysikaalinen kulmakerroin on kappaleen nopeus.
- Kappale kulkee tasaisessa liikkeessä samassa ajassa aina yhtä pitkän matkan.
- Tasaisessa liikkeessä kappale etenee ajassa t matkan $s = vt$.
- Nopeuden kuvaaja on tasaisessa liikkeessä vaakasuora.

Esimerkki 1 — Nopeuden laskeminen

Koordinaatistossa on esitetty juoksevan Antin ja kävelevän Maijan liikkeet.



a) Kumman nopeus on suurempi?
b) Kuinka suuria nopeudet ovat?
c) Piirrä nopeuksien kuvaajat aika–nopeus-koordinaatistoon.

Ratkaisu

a) Antin paikan kuvaaja nousee jyrkemmin kuin Maijan paikan kuvaaja. Tästä voidaan päätellä, että Antin nopeus on suurempi kuin Maijan.

b) Kuvaajista nähdään, että Antti on juossut ajassa 20 s matkan 50 m ja Maija on kävellyt 30 m. Molempien paikan kuvaaja on suora, joten molemmat liikkuvat tasaisesti.

Tasaisessa liikkeessä nopeus on

$$v = \frac{s}{t}.$$

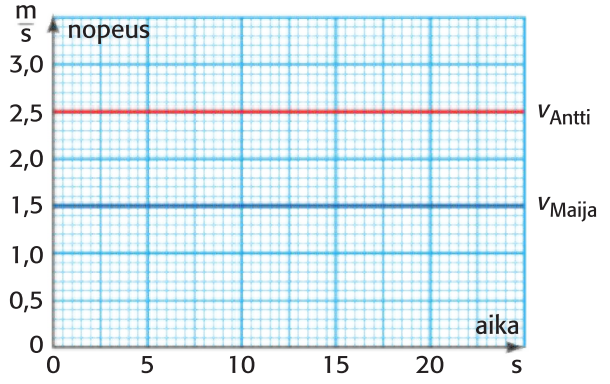
Täten Antin nopeudeksi saadaan

$$v = \frac{s}{t} = \frac{50\ \text{m}}{20\ \text{s}} = 2{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ja Maijan nopeudeksi

$$v = \frac{s}{t} = \frac{30\ \text{m}}{20\ \text{s}} = 1{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

c) Antti juoksee vakionopeudella 2,5 m/s ja Maija kävelee vakionopeudella 1,5 m/s. Koska nopeudet eivät muutu, nopeuksien kuvaajat aika–nopeus-koordinaatistossa ovat vaakasuoria suoria.



Huomaa!

Laskutoimituksissa käytetyt lukuarvot vaikuttavat siltä, että niissä on vain yksi merkitsevä numero. Arvot on luettu kuvaajasta, ja siitä nähdään, että käytetyt arvot tunnetaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella. Siksi tuloksetkin annetaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella.

Vastaus

b) Antin nopeus on 2,5 m/s ja Maijan nopeus 1,5 m/s.

Esimerkki 2 — Matkan laskeminen

Halkaisijaltaan puolen senttimetrin suuruinen ukkossadepisara putoaa tyynessä ilmassa maata kohti nopeudella 9,1 m/s. Kuinka pitkän matkan pisara putoaa 12 sekunnissa?

Ratkaisu

Sadepisaran liike on tasaista, joten pisaran kulkema matka on $s = vt$. Sijoitetaan matkan yhtälöön nopeus $v = 9{,}1$ m/s ja aika $t = 12$ s. Silloin pisaran kulkema matka on

$$s = vt$$

$$= 9{,}1\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 12\ \text{s} = 109{,}2\ \text{m} \approx 110\,\text{m}.$$

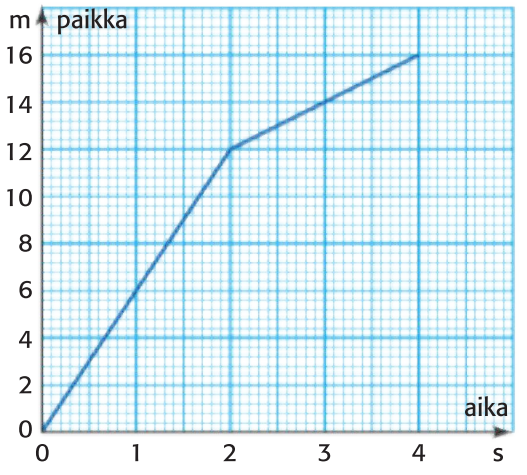
Vastaus

Pisara putoaa 110 m.

Esimerkki 3 — Tasaisen liikkeen kuvaajia

Alla olevassa koordinaatistossa on esitetty suoraviivaisesti liikkuvan kappaleen paikka ajan funktiona.

Piirrä kappaleen nopeuden kuvaaja.



Ratkaisu

Kuvaajasta nähdään, että aikavälillä 0,0 s – 2,0 s kappale liikkuu tasaisesti origosta paikkaan 12,0 m, ja sen jälkeen aikavälillä 2,0 s – 4,0 s tasaisesti paikasta 12,0 m paikkaan 16,0 m.

Ensimmäisellä aikavälillä kappaleen nopeus on

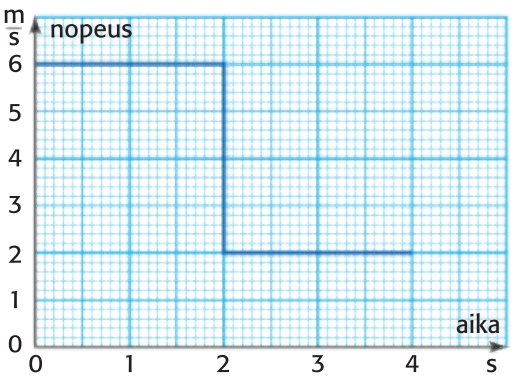
$$v = \frac{\text{matka}}{\text{kulunut aika}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$= \frac{12{,}0\ \text{m}}{2{,}0\ \text{s}} = 6{,}0\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Myös aikavälin 2,0 s – 4,0 s pituus on $t = 2{,}0$ s. Tällä välillä matka on $s = 16{,}0\ \text{m} - 12{,}0\ \text{m} = 4{,}0$ m, joten sillä aikavälillä nopeus on

$$v = \frac{\text{matka}}{\text{kulunut aika}} = \frac{4{,}0\ \text{m}}{2{,}0\ \text{s}} = 2{,}0\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Nopeuden kuvaajaksi saadaan:



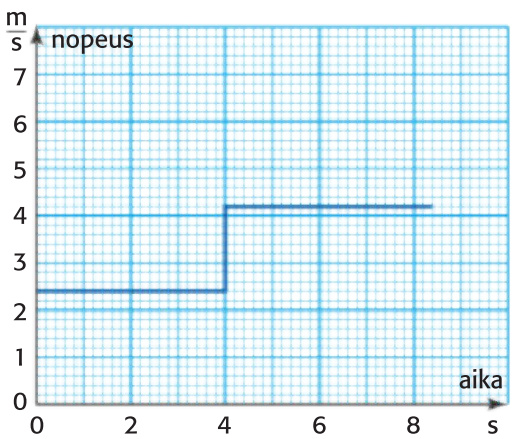
Esimerkki 4 — Matkan määrittäminen graafisesti

Alla olevassa koordinaatistossa on esitetty suoraviivaisesti liikkuvan kappaleen nopeus ajan funktiona.

a) Kuvaile kappaleen liikettä.

b) Laske matka, jonka kappale liikkuu ajassa 7,0 s.

c) Piirrä kappaleen paikan kuvaaja, kun liike lähtee origosta.



Ratkaisu

a) Kappale liikkuu aikavälin 0 s – 4,0 s vakionopeudella 2,4 m/s. Sen jälkeen kappaleen nopeus on 4,2 m/s ainakin hetkeen 8,4 s asti. Molemmilla aikaväleillä kappaleen liike on tasaista.

b) Kappaleen kulkema matka saadaan määrittämällä nopeuden kuvaajan ja aika-akselin väliin jäävän alueen fysikaalinen pinta-ala. Määritetään se kahdessa osassa.

välillä 0 s – 4,0 s matka on:

$$s_1 = 4{,}0\,\text{s} \cdot 2{,}4\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 9{,}6\,\text{m}.$$

välillä 4,0 s – 7,0 s matka on:

$$s_2 = (7{,}0 - 4{,}0)\,\text{s} \cdot 4{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 3{,}0\,\text{s} \cdot 4{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 12{,}6\,\text{m}.$$

Ajassa 7,0 s kuljettu matka on siten

$$s = s_1 + s_2$$

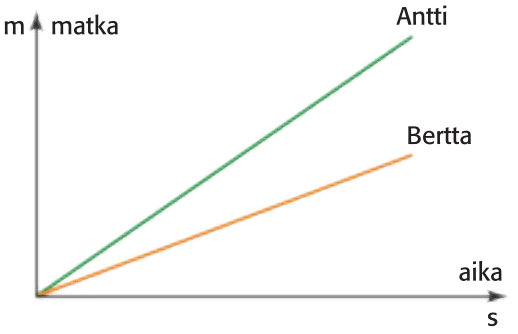
$$= 9{,}6\,\text{m} + 12{,}6\,\text{m} = 22{,}2\,\text{m} \approx 22\,\text{m}.$$

c) Hetkellä $t = 0$ s kappale on origossa. Aikavälillä 0 s – 4,0 s liike on tasaista. Kappaleen paikka hetkellä $t_1 = 4{,}0$ s on b)-kohdan mukaan $x_1 = 9{,}6$ m ja hetkellä $t_2 = 7{,}0$ s paikka $x_2 = 22{,}2$ m.

Vastaus

b) Matka on 22 m.

60. Kuvassa on esitetty graafisesti Antin ja Bertan kävely. Miten saat selville, kumpi kävelee nopeammin. Esim. ①



61. **a)** Millaista liikettä tasainen liike on?
b) Kerro kaksi esimerkkiä tasaisesta liikkeestä. Esim. ①

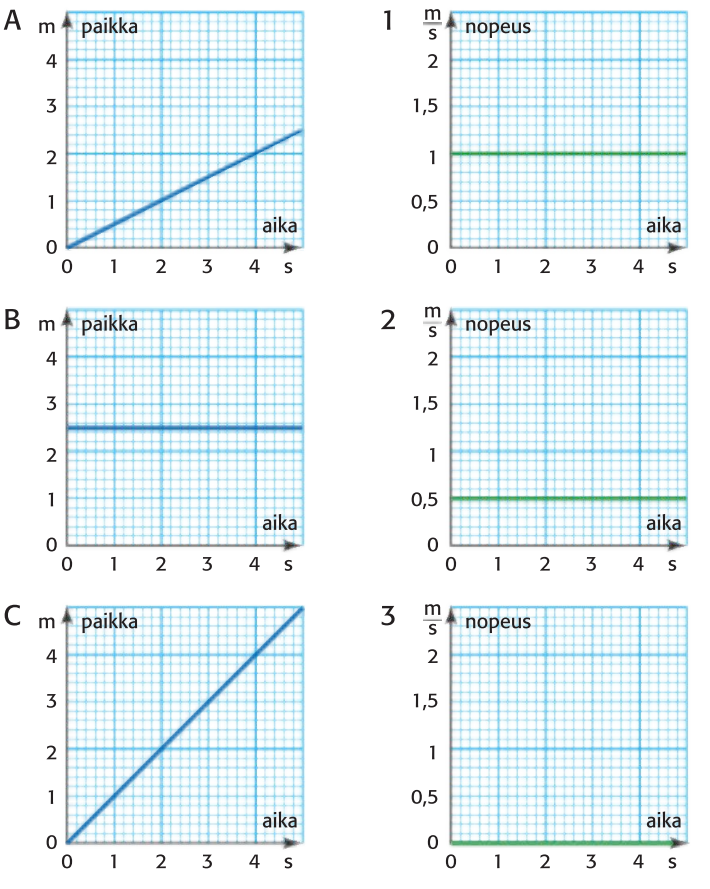
62. Hölkkääjän vyötäisille on kiinnitetty liikeanturi, jolla voidaan seurata liikettä etenemissuunnassa, ylös–alas -suunnassa sekä sivusuunnassa. Kati ja Laura tutkivat mittausdataa ja joutuvat keskenään väittelyyn. Katin mielestä hölkkääjän liike on tasaista. Laura taas on sitä mieltä, että liike ei ole tasaista. Miten on mahdollista, että molemmat ovat oikeassa?

63. Oppilaat mittasivat kadulla auton liikettä. Auton käyttämä aika mitattiin 15 metrin välein. Mittaustulokset ovat taulukossa.

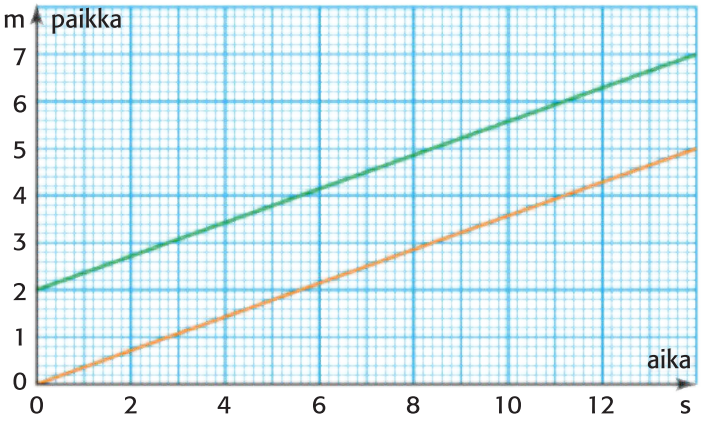
Paikka (m)	Aika (s)
0	0
15	1,2
30	2,6
45	3,8
60	5,0

Piirrä aika–paikka-koordinaatisto, jossa vaaka-akselina on aika ja pystyakselina paikka.
a) Merkitse mittaustulokset aika–paikka-koordinaatistoon.
b) Onko auton liike tasaista?
c) Noudattaako auto nopeusrajoitusta, kun alueella on 50 km/h nopeusrajoitus? Esim. ①

64. Pyöräilijöiden liikkumista kuvattiin sekä aika–paikka-koordinaatistossa että aika–nopeus-koordinaatistossa. Mitkä paikkakuvaajat vastaavat nopeuskuvaajia? Esim. ③

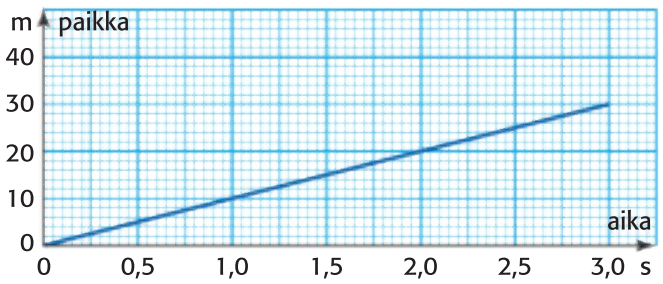


65. Eeva ja Jussi kävelevät peräkkäin samalla nopeudella. Eeva kävelee 2 metriä Jussin edellä. Perustele kumpi kuvaaja esittää Eevan liikettä. Esim. ①



66. Auto liikkuu moottoritiellä tasaisella nopeudella. Valpas tarkkailija mittaa sekuntikellolla, että auto liikkuu kahden sillan välisen 320 metrin matkan yhdessätoista sekunnissa.
a) Laske auton nopeus.
b) Kuinka pitkän matkan auto liikkuu 22 sekunnissa?
c) Mitä tarkkailijan on oletettava a-kohdan laskussa? Esim. ②

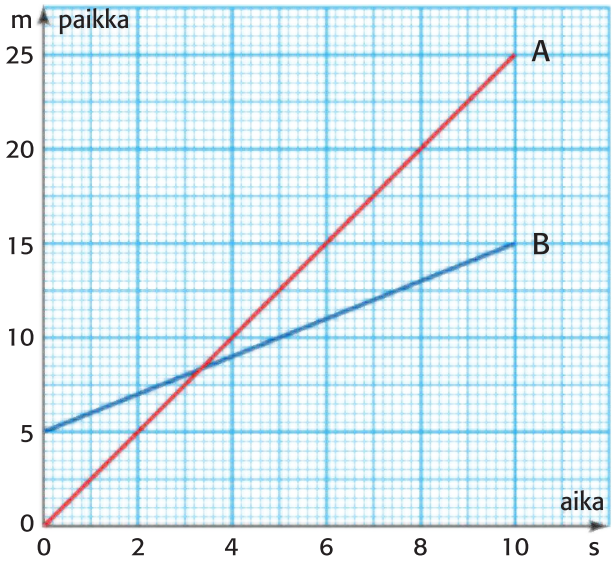
67. Kuvaaja esittää pyöräilijän paikkaa ajan funktiona.



a) Millaista pyöräilijän liike on?
b) Kuinka pitkän matkan pyöräilijä kulkee 1,0 s:n ja 3,0 s:n välisenä aikana? Esim. ④
c) Määritä pyöräilijän nopeus aikavälillä 1,0 s – 3,0 s.

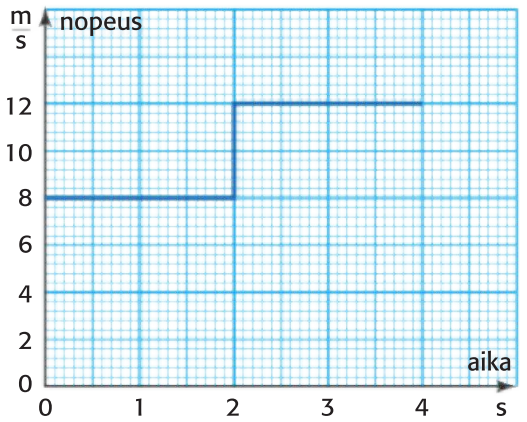
68. Henkilö kulki ensin tasaisesti vakionopeudella eteenpäin, sitten jonkin aikaa suuremmalla vakionopeudella ja lopuksi pysyi paikallaan. Piirrä liikkeen kuvaaja
a) aika–paikka-koordinaatistoon
b) aika–nopeus-koordinaatistoon. Esim. ② ja ③

69. Kuvaaja esittää kävelijöiden Antti (A) ja Bertta (B) liikettä.

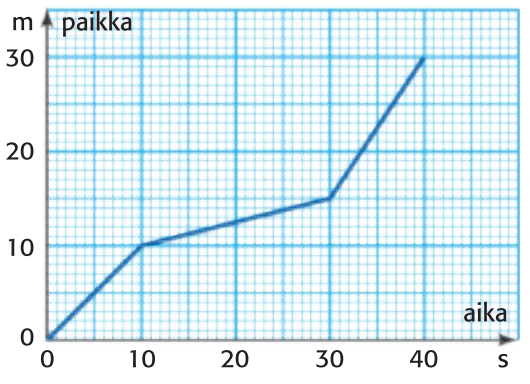


a) Kuvaile liikkeitä. Miten liikkeet poikkeavat toisistaan?
b) Määritä Antin ja Bertan nopeudet. Esim. ①

70. Kuvaaja esittää mopoilijan nopeutta. Laske matka, jonka mopoilija ajaa aikavälillä 0,0 s – 3,5 s.
Esim. ③



71. Kuvaaja esittää kävelijän paikkaa ajan funktiona.



a) Millä hetkellä kävelijä on 30 metrin päässä lähtöpisteestään?
b) Piirrä kävelijän nopeuden kuvaaja. Esim. ③

72. Rullaportaiden pituus on 11,5 metriä. Matka portailla kestää 21 sekuntia.
a) Laske rullaportaiden nopeus.
b) Matti astuu portaille hetkellä 0 s. Millä hetkellä hän on 5,5 metrin etäisyydellä portaiden loppupäästä? Esim. ②

73. Pendolino-juna liikkuu Keravan ja Lahden välillä osan matkasta tasaisella nopeudella 190 km/h.
a) Kuinka pitkän matkan juna liikkuu viidessä ja puolessa minuutissa?
b) Kuinka pitkä aika junalta kuluu 2,5 kilometrin matkaan? Esim. ②

7 Kiihtyvyys kuvaa liikkeen muutosta

Aika (s)	Nopeus (m/s)
0	0
1	5,0
2	8,2
3	9,5
4	10,9
5	11,3
6	11,5
7	11,3
8	11,3
9	11,2
10	11,2

Juoksijan nopeus sekunnin välein.

Keskikiihtyvyys on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

jossa

v_1 on nopeus hetkellä t_1 ja

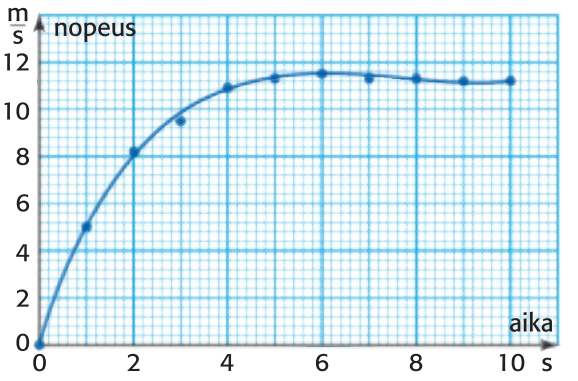
v_2 on nopeus hetkellä t_2.

Kiihtyvyyden SI-yksikkö on 1 m/s^2.

Muuttuvassa liikkeessä muuttuu nopeus

Yleensä kappaleet eivät liiku tasaisesti, vaan niiden liike on muuttuvaa. Muuttuvassa liikkeessä muuttuu kappaleen nopeuden suuruus tai liikkumissuunta tai molemmat. Muuttuvan liikkeen paikan kuvaaja ei ole suora, kuten tasaisen liikkeen kuvaaja on.

Taulukossa on esitetty juoksijan nopeus juoksun aikana sekunnin välein. Kun mittaustulokset sijoitetaan aika-nopeus-koordinaatistoon, saadaan nopeuden kuvaaja. Kuvaajasta huomataan, että pikajuoksijan nopeus on ensin lisääntynyt ja sitten saavuttanut melkein vakioarvon, hiukan yli 11 m/s. Juoksijan nopeus oli aluksi muuttuvaa ja sitten lähes tasaista.



Keskikiihtyvyys on nopeuden keskimääräinen muutosnopeus

Muuttuvan liikkeen tarkastelussa käytetään suuretta **kiihtyvyys**. Kun kappaleen nopeuden muutos tunnetaan tietyllä aikavälillä, voidaan laskea kappaleen **keskikiihtyvyys**.

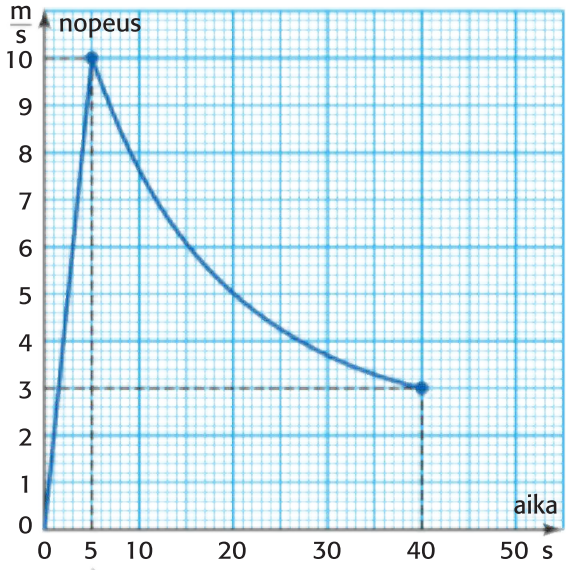
Keskikiihtyvyys määritellään seuraavasti:

$$\text{keskikiihtyvyys} = \frac{\text{nopeuden muutos}}{\text{muutokseen kulunut aika}}.$$

Kiihtyvyyden yksikkö saadaan jakamalla nopeuden yksikkö ajan yksiköllä. SI-järjestelmässä nopeuden yksikkö on 1 m/s ja ajan yksikkö 1 s, joten kiihtyvyyden SI-yksikkö on

$$1\frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = 1\frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\frac{\text{s}}{1}} = 1\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{s}} = 1\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Kiihtyvyys ilmaisee nopeuden muutosnopeuden, eli sen miten paljon nopeus muuttuu aikayksikössä.



Pyöräilijän nopeus lisääntyy ensimmäisen viiden sekunnin aikana. Sen jälkeen pyöräilijän nopeus pienenee.

Hidastuvassa liikkeessä nopeus pienenee

Vieressä olevaan koordinaatistoon on piirretty polkupyöräilijän nopeuden kuvaaja. Aluksi pyöräilijä lisää nopeutta tasaisesti viiden sekunnin ajan ja sen jälkeen antaa pyörän rullata vapaasti. Rullauksessa polkupyörän kulkusuunta ei muutu, mutta nopeus pienenee.

Kuvaajan mukaan aikavälillä 0 s – 5 s nopeus on kasvanut arvoon 10 m/s ja aikavälillä 5 s – 40 s nopeus on laskenut arvosta 10 m/s arvoon 3 m/s. Siten aikavälillä 5 s – 40 s keskikiihtyvyys on

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{3\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{40\text{ s} - 5\text{ s}} = \frac{-7\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{35\text{ s}} = -0{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Negatiivinen keskikiihtyvyys tarkoittaa, että polkupyörän nopeus pienenee keskimäärin 0,2 m/s joka sekunti. Liike on hidastuvaa.

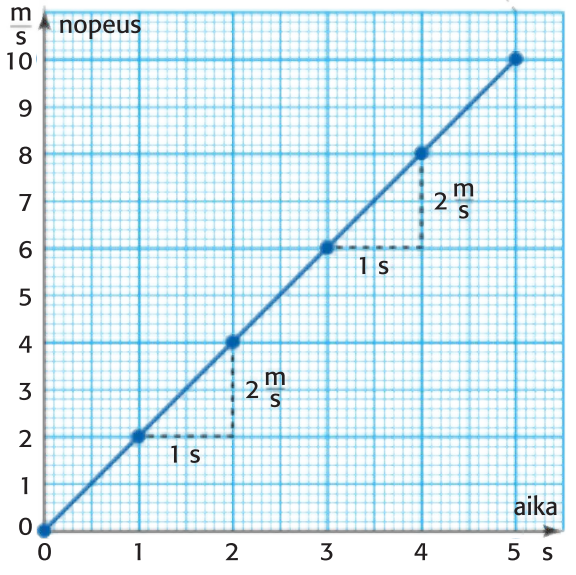
Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä kiihtyvyys ei muutu

Kuvassa on esitetty pyöräilijän nopeus viiden ensimmäisen sekunnin aikana. Kuvaajasta huomataan, että nopeus lisääntyi joka sekunti arvolla 2 m/s.

Pyöräilijän liike on **tasaisesti kiihtyvä**, sillä nopeus muuttuu yhtä pitkinä aikaväleinä yhtä paljon. Tällöin kiihtyvyys on vakio, eli se ei muutu. Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä kiihtyvyys on sama kuin kappaleen keskikiihtyvyys millä tahansa aikavälillä eli

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 0\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{5\text{ s} - 0\text{ s}} = 2\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$



Pyöräilijän liike viiden ensimmäisen sekunnin aikana. Nopeus muuttuu jokaisen sekunnin aikana 2 m/s.

Pyöräilijän nopeus kasvoi viidessä sekunnissa nollasta arvoon 10 m/s, joten pyöräilijän kiihtyvyys oli 2 m/s^2.

Kun kappale lähtee levosta, alkunopeus v_1 on nolla. Nopeuden muutos Δv on silloin yhtä suuri kuin loppunopeus v_2. Vastaavasti, kun alkuhetkeksi valitaan hetki nolla, kulunut aika Δt on yhtä suuri kuin t_2. Kun kulunutta aikaa merkitään lyhyesti tunnuksella t ja loppunopeutta tunnuksella v, pyörän kiihtyvyys voidaan kirjoittaa

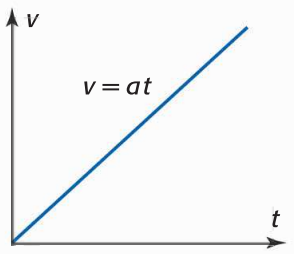
$$a = \frac{v}{t}.$$

Tätä yhtälöä voidaan käyttää kiihtyvyyden määrittämiseen vain silloin, kun liike on tasaisesti kiihtyvää.

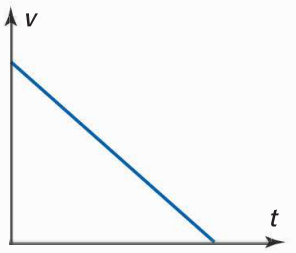
Koska kiihtyvyys on vakio, se voidaan laskea käyttäen mitä tahansa ajanhetkeä t ja sitä vastaavaa nopeutta v.

Kun kiihtyvyyden yhtälö kerrotaan puolittain ajalla, saadaan nopeus hetkellä t

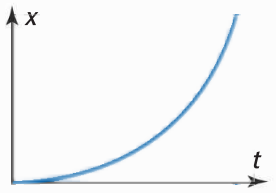
$$v = at.$$



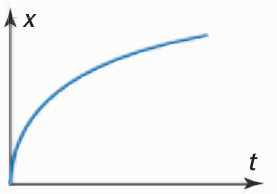
Tasaisesti kiihtyvän liikkeen nopeuden kuvaaja



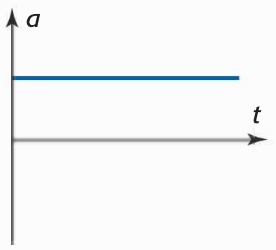
Tasaisesti hidastuvan liikkeen nopeuden kuvaaja. Nopeuden muutos on negatiivinen.



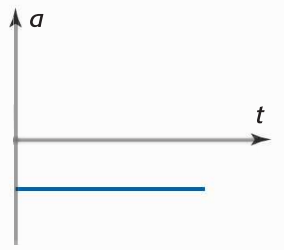
Tasaisesti kiihtyvän liikkeen paikan kuvaaja



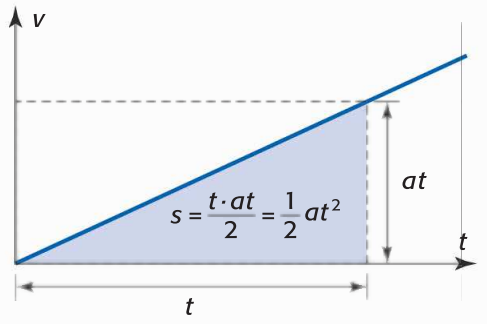
Tasaisesti hidastuvan liikkeen paikan kuvaaja



Kiihtyvyys on positiivinen.



Kiihtyvyys on negatiivinen.



Kappaleen etenemä matka voidaan määrittää nopeuden kuvaajan avulla myös tasaisesti muuttuvassa liikkeessä. Kolmion pinta-ala on $\frac{\text{kanta} \cdot \text{korkeus}}{2} = \frac{1}{2}at^2$.

Tasaisesti hidastuvassa liikkeessä kappaleen nopeus pienenee tasaisesti

Kappaleen nopeus voi kasvaa tai pienentyä tasaisesti. Aina silloin, kun kappaleen nopeus muuttuu tasaisesti, liikkeen voidaan sanoa olevan tasaisesti kiihtyvää. Liikettä, jossa nopeus pienenee tasaisesti, sanotaan myös **tasaisesti hidastuvaksi liikkeeksi**.

Kun kappaleen nopeus pienenee, nopeuden muutos on negatiivinen. Silloin myös kiihtyvyyden arvo on negatiivinen. Siksi tasaisesti hidastuvassa liikkeessä kiihtyvyys on negatiivinen.

Tasaisesti kiihtyvä liike on tärkeä malli

Tasaisesti kiihtyvä liike on malli, jolla kuvataan liikkeitä, jotka ovat todellisuudessa likimain tasaisesti kiihtyviä. Esimerkiksi kiven putoaminen ja jääkiekon liukuminen ovat melkein tasaisesti kiihtyviä liikkeitä.

Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä paikka ei muutu tasaisesti

Kun kappaleen liike on tasaisesti kiihtyvää, sen nopeus kasvaa joka sekunti yhtä paljon. Silloin se myös kulkee jokaisen sekunnin aikana pitemmän matkan kuin edellisen sekunnin aikana. Vastaavasti tasaisesti hidastuvassa liikkeessä kappale etenee joka sekunti lyhyemmän matkan kuin edellisen sekunnin aikana. Tasaisesti muuttuvassa liikkeessä paikan kuvaaja on siten käyrä.

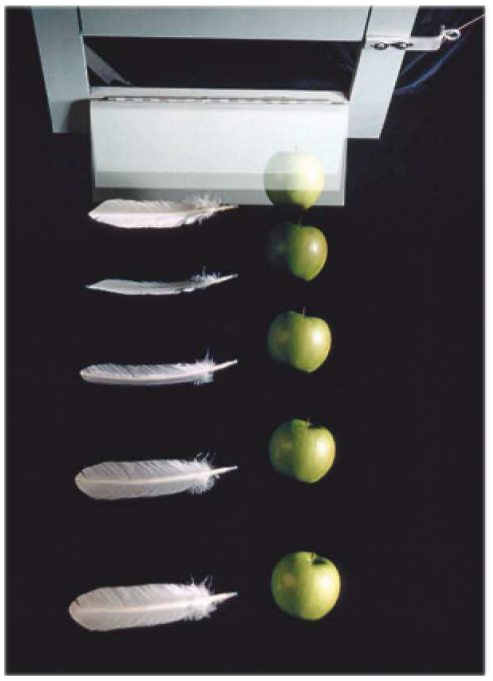
Matka voidaan määrittää nopeuden kuvaajasta

Tasaisessa liikkeessä aika-akselin ja kuvaajan väliin jäävän alueen **fysikaalinen pinta-ala** ilmaisee kappaleen kulkeman matkan. Kappaleen etenemä matka saadaan muissakin liikkeissä määrittämällä aika-akselin ja nopeuden kuvaajan välisen alueen fysikaalinen pinta-ala.

Kun kappale lähtee levosta ja sen nopeus kasvaa tasaisesti, nopeuden kuvaaja on origon kautta kulkeva nouseva suora. Ajassa t lähdön jälkeen edetyn matkan ilmaiseva alue on silloin kolmio, jonka pinta-ala on

$$s = \frac{t \cdot at}{2} = \frac{1}{2}at^2.$$

Matkan lausekkeen perusteella voidaan päätellä myös, että tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä paikan kuvaaja on käyrä.



Tyhjiössä, maanpinnan lähellä pudotettu kappale saa putoamiskiihtyvyyden $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$.

Tyhjiössä putoaminen on tasaisesti kiihtyvää liikettä

Tavallisin lähes tasaisesti kiihtyvä liike on painavan esineen **putoamisliike**. Putoamisliikettä voidaan tutkia esimerkiksi niin, että pudotetaan korkeasta tornista kivi ja mitataan sen paikka ja nopeus tasaisin väliajoin.

Taulukossa on esitetty putoavan kiven paikka ja nopeus sekunnin välein. Kun kiven paikka esitetään aika–paikka-koordinaatistossa, saadaan kuvaaja, joka on käyrä (kuva 1).

Kiven nopeus muuttuu koko ajan. Kun kiven nopeus esitetään aika–nopeus-koordinaatistossa, huomataan, että nopeuden kuvaaja on nouseva suora (kuva 2). Kiven liike on siis tasaisesti kiihtyvää.

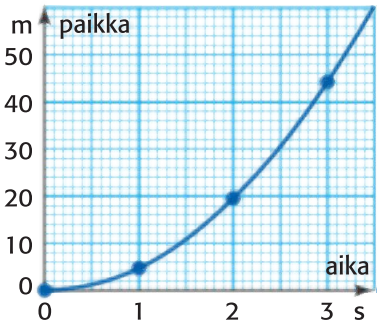
Putoamiskiihtyvyyden tunnus on g, ja sen arvo riippuu jonkin verran siitä, missä päin maapalloa ollaan. Laskuissa käytetään putoamiskiihtyvyyden arvoa $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$ (kuva 3). Kun tasaisesti kiihtyvän liikkeen nopeuden yhtälössä $v = at$, korvataan kiihtyvyyden tunnus a putoamiskiihtyvyyden tunnuksella g, saadaan putoavan kappaleen nopeuden yhtälö $v = gt$, jossa g on putoamiskiihtyvyys ja t putoamisen alkamisesta lukien kulunut aika.

Taulukko 1

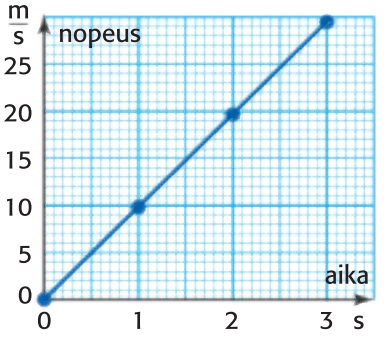
Aika (s)	Paikka (m)	Nopeus (m/s)
0	0	0
1	4,9	9,8
2	19,6	19,6
3	44,2	29,4

Putoamisliikkeen kuvaajat

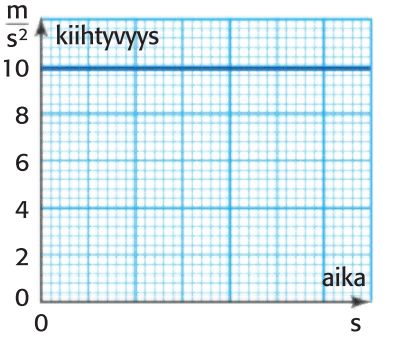
Kuva 1 Paikan kuvaaja



Kuva 2 Nopeuden kuvaaja



Kuva 3 Kiihtyvyyden kuvaaja



Tiivistelmä

- Kappaleen keskikiihtyvyys on
$$a_{\mathrm{k}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}.$$
- Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä nopeus muuttuu samassa ajassa aina yhtä paljon.
- Nopeuden kuvaaja on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä suora.
- Raskaan kappaleen putoaminen on likimain tasaisesti kiihtyvää liikettä.

Esimerkki 1 — Keskikiihtyvyyden laskeminen

Laske pikajuoksijan keskikiihtyvyys aikavälillä 1,0 s – 6,0 s.

Aika (s)	Nopeus (m/s)
0	0
1	5,0
2	8,2
3	9,5
4	10,9
5	11,3
6	11,5
7	11,3

Ratkaisu

Juoksijan nopeus hetkellä $t_1 = 1{,}0$ s on $v_1 = 5{,}0$ m/s ja hetkellä $t_2 = 6{,}0$ s $v_2 = 11{,}5$ m/s.
Kysytyllä aikavälillä keskikiihtyvyys on siten

$$a_\mathrm{k} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{11{,}5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} - 5{,}0\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{6{,}0\ \mathrm{s} - 1{,}0\ \mathrm{s}}$$

$$= \frac{6{,}5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{5{,}0\ \mathrm{s}} = 1{,}3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}.$$

Vastaus

Pikajuoksijan keskikiihtyvyys on kysytyllä aikavälillä 1,3 m/s^2.

Esimerkki 2 — Nopeuden laskeminen

Pyöräilijä lähtee liikkeelle levosta. Kuinka suuri on pyöräilijän nopeus 3,5 sekunnin kuluttua lähdöstä, kun hänen vakiokiihtyvyytensä on 2,0 m/s^2?

Ratkaisu

$a = 2{,}0$ m/s^2, $t = 3{,}5$ s
Pyöräilijä lähtee liikkeelle levosta ja liike on tasaisesti kiihtyvää, joten hetkellä t pyöräilijän kiihtyvyys on

$$a = \frac{v}{t}.$$

Kun yhtälöstä ratkaistaan nopeus, saadaan

$$v = at.$$

Sijoitetaan tähän kiihtyvyys $a = 2{,}0$ m/s^2 ja kulunut aika $t = 3{,}5$ s, jolloin saadaan

$$v = 2{,}0\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 3{,}5\ \mathrm{s} = 7{,}0\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Vastaus

Pyöräilijän nopeus on 7,0 m/s.

Esimerkki 3 — Jarrutusajan laskeminen

Skootterin kuljettaja jarruttaa tasaisesti nopeudesta 11,5 m/s niin, että hidastuvuus on 4,2 m/s^2. Kuinka kauan kestää skootterin pysäyttäminen alkuvauhdista?

Huomaa!

Miinusmerkki kiihtyvyydessä ilmaisee nyt, että skootterin liike on hidastuvaa.

Ratkaisu

$v_1 = 11{,}5$ m/s, $v_2 = 0$ m/s, $a = -4{,}2$ m/s^2

Skootterin nopeus muuttuu tasaisesti. Jarrutukseen kuluneelle ajalle saadaan lauseke kiihtyvyyden yhtälöstä

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t$$
$$a\Delta t = \Delta v \quad | : a$$
$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a}$$

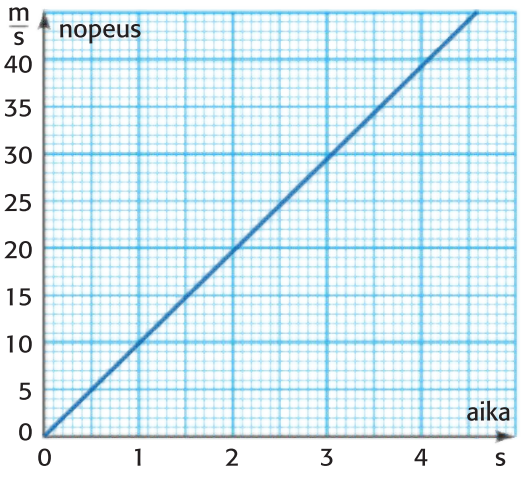
$$\Delta t = \frac{0\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 11{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{-4{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2{,}738\text{ s} \approx 2{,}7\text{ s}.$$

Vastaus

Skootterin pysäyttämiseen kuluisi tällä kiihtyvyydellä aikaa 2,7 s.

Esimerkki 4 — Kuljetun matkan laskeminen

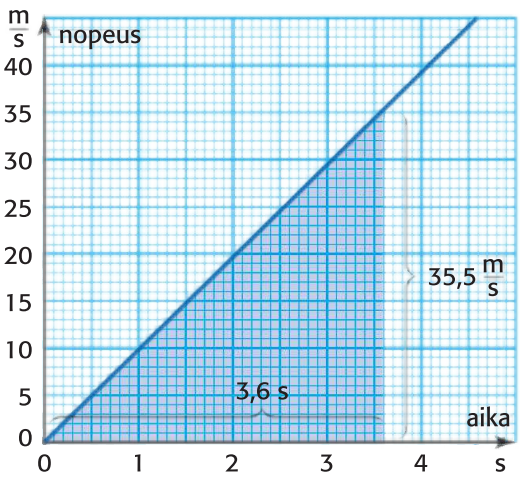
Kuvaajassa on korkeasta tornista pudotetun kiven nopeus ajan funktiona. Kuinka pitkän matkan kivi on pudonnut, kun irrotushetkestä on kulunut 3,6 s?



Ratkaisu

Ratkaistaan kysytty matka graafisesti. Kappaleen etenemä matka on nopeuden kuvaajan ja aika-akselin väliin jäävän alueen fysikaalinen pinta-ala.

Kolmion pinta-ala on $\frac{\text{kanta} \cdot \text{korkeus}}{2}$.



Alue on kolmio, jonka korkeus on sama kuin kiven nopeus hetkellä 3,6 s. Kuvaajasta luettuna nopeus on 35,5 m/s.

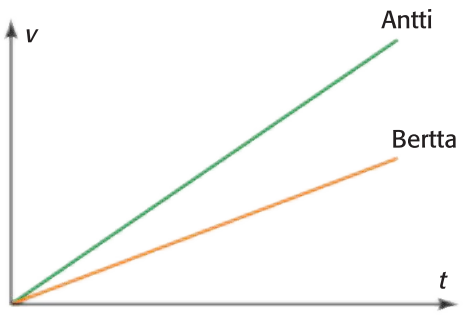
Ajassa 3,6 s kivi on siten pudonnut matkan

$$s = \frac{1}{2} \cdot 3{,}6\text{s} \cdot 35{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 63{,}9\text{m} \approx 64\text{m}.$$

Vastaus

Kysytyssä ajassa kivi on pudonnut 64 m.

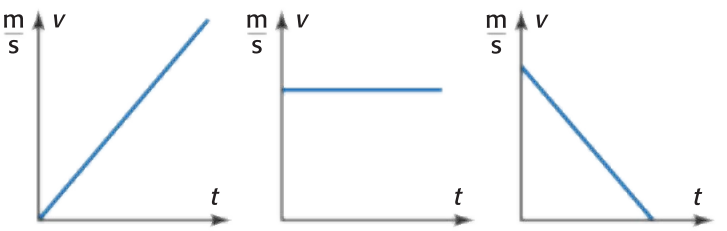
74. Antti ja Berta laskivat rullalaudalla mäkeä alas. Oheisissa kuvaajissa on esitetty heidän nopeutensa eri ajanhetkillä. Kummalla oli suurempi kiihtyvyys?



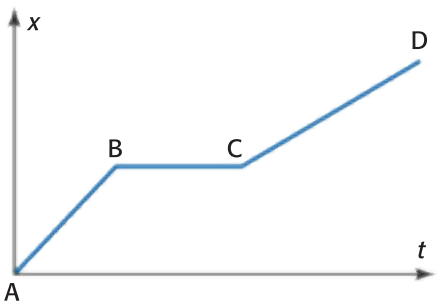
75. Metrojuna saavuttaa asemalta lähdön jälkeen 25 sekunnissa nopeuden 98 km/h. Kuinka suuri junan keskikiihtyvyys on? Esim. ①

76. Mitä voidaan päätellä leikkiauton liikkeestä kuvaajan perusteella?

a) **b)** **c)**

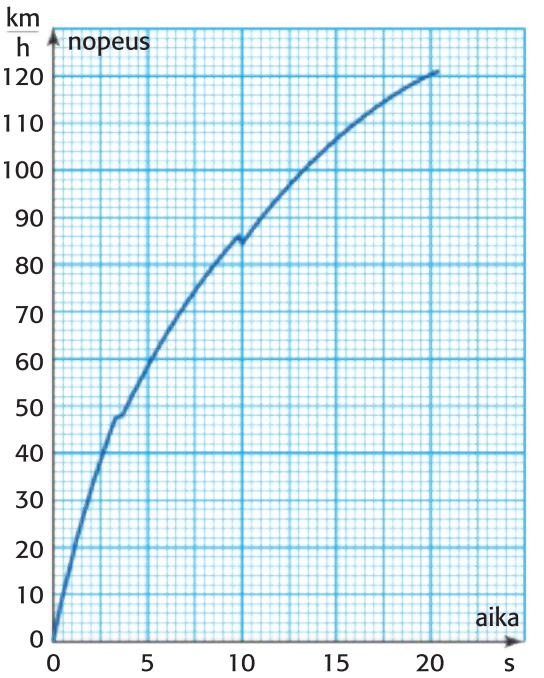


77. Paikan kuvaaja esittää kävelijän liikettä. Ovatko seuraavat väitteet oikein? Perustele ja korjaa väärät väitteet oikeiksi.

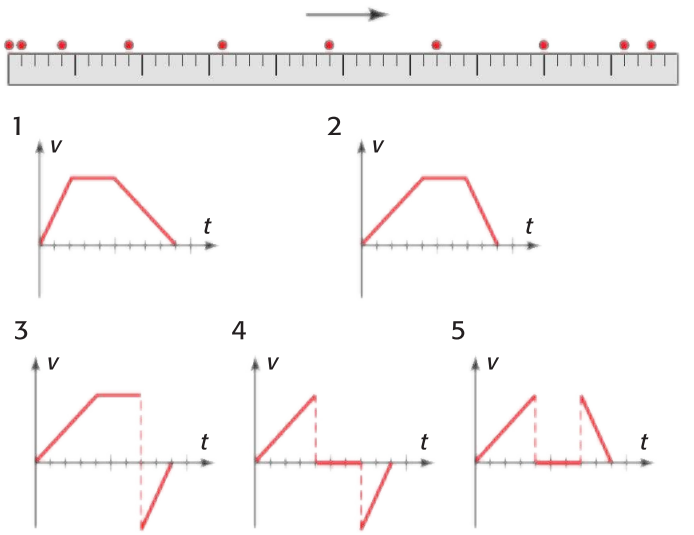


a) Liike on kiihtyvää välillä AB.
b) Kävelijä on paikallaan välillä BC.
c) Kävelijä nousee mäkeä ylös välillä CD.
d) Kävelijän nopeus on suurempi välillä AB kuin välillä CD.

78. Määritä auton keskikiihtyvyys aikavälinä 4,0 s – 16,0 s. Esim. ①



79. Pienoisjuna liikkuu pöydällä. Juna lähtee liikkeelle vasemmalta ja pysähtyy oikealle. Kukin piste kuvaa junan paikkaa yhtä pitkien aikavälien jälkeen. Mikä kuvaaja esittää parhaiten junan nopeutta ajan funktiona?



80. Moottorivene lähtee liikkeelle levosta.
a) Kuinka suuri on veneen nopeus 12 sekunnin kuluttua lähdöstä, kun veneen kiihtyvyys on 2,0 m/s^2?
b) Muunna tulos yksikköön km/h. Esim. ②

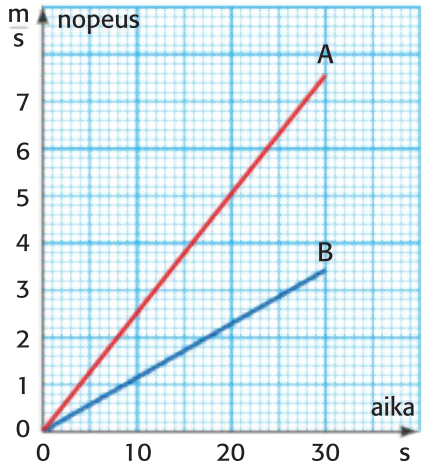
81. Veturi töytäisi junavaunun liikkeelle. Vaunu pysähtyy tasaisesti jarruttamalla niin, että sen nopeus pienenee keskimäärin 3,4 m/s joka sekunti. Kuinka kauan vaunun pysäyttäminen alkunopeudesta 6,5 m/s kesti? Esim. ③

82. Pienoislennokin keskikiihtyvyys on 4,7 m/s^2. Kuinka suuri lennokin nopeus on, kun lähdöstä on kulunut 6,5 sekuntia?

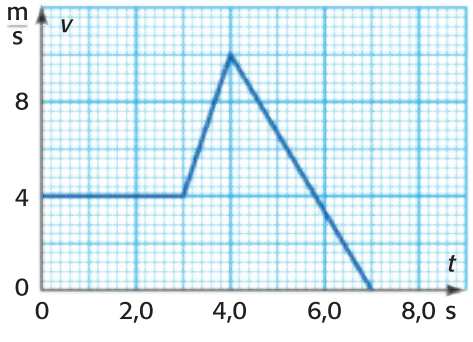
83. Kuinka kauan kestää, että auton nopeus muuttuu arvosta 23,4 m/s arvoon 28,2 m/s, jos auton keskikiihtyvyys on 1,2 m/s^2?

84. **a)** Laske kappaleiden A ja B keskikiihtyvyydet aikavälillä 0 s – 20 s.

b) Kumman kappaleen kiihtyvyys on suurempi? Miten suurempi kiihtyvyys näkyy kuvaajasta?



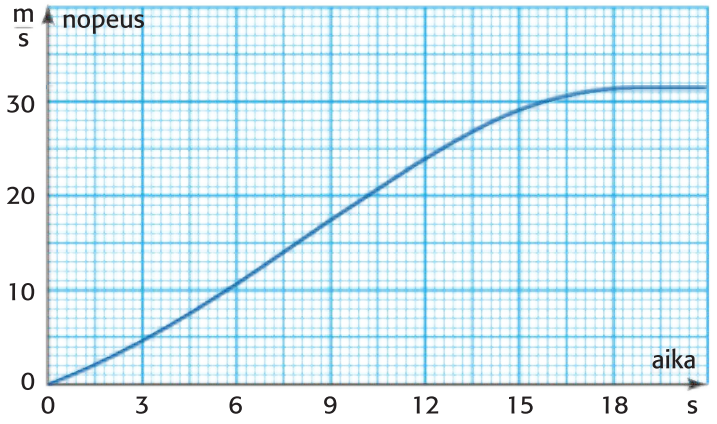
85. Määritä matka, jonka kappale kulkee 7 sekunnissa. Esim. ④



86. Kuvaaja esittää gepardin nopeutta.

a) Kuinka suuri nopeus on hetkellä 3 s ja 12 s?

b) Määritä gepardin keskikiihtyvyys aikavälillä 3 s – 12 s.

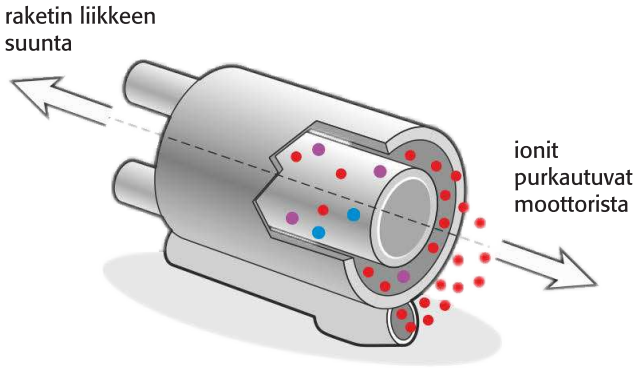


87. Lentokoneen keskikiihtyvyys nousukiidossa on 3,0 m/s^2.

a) Mikä on lentokoneen nopeus 10 sekunnin kuluttua?

b) Missä ajassa lentokone saavuttaa nopeuden 250 km/h?

88. Ionimoottori kiihdyttää kuuluotainta hitaasti 2,0 mm/s^2. Laske, missä ajassa luotaimen nopeus on muuttunut nopeuteen 16 000 km/h.



89. Jääpuikko putoaa viisikerroksisen talon katolta. Puikon alkunopeus on nolla. Kuinka suuri sen nopeus on 1,8 sekunnin kuluttua? Ilmanvastusta ei oteta huomioon.

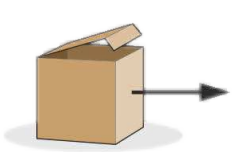
8 Voima aiheutuu vuorovaikutuksesta

Newtonin III laki
Kahden kappaleen vuorovaikutuksesta syntyvät voima ja vastavoima ovat yhtä suuria mutta vastakkaissuuntaisia, ja ne vaikuttavat eri kappaleisiin.

Mailan ja kiekon vuorovaikutuksesta syntyy voima ja vastavoima.

Voima on vektorisuure, joka kuvaa vuorovaikutuksen voimakkuutta. Voiman tunnus on F ja yksikkö 1 N (newton).

Voiman suuruus

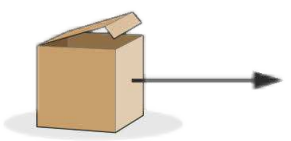


Nuolen pituus kuvaa voiman suuruutta. Pidempi nuoli merkitsee suurempaa voimaa.

Voiman suunta

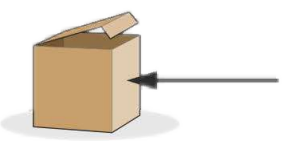
Voiman suunta on nuolen kärjen suuntaan.

Veto



Voima alkaa kappaleesta.

Työntö



Voiman kärki kohdistuu kappaleeseen.

Kappaleen liikkeen muutos seuraa vuorovaikutuksista

Liikkeessä kappaleen nopeuden suuruus tai kappaleen liikesuunta voivat muuttua. Liikkeen muutosta kuvaa kiihtyvyys. Kiihtyvyys on aina seurausta kappaleen vuorovaikutuksista sen ympäristön kanssa.

Vuorovaikutuksesta syntyy kaksi voimaa

Kun jääkiekkoa lyödään, kiekon nopeus ja liikkeen suunta muuttuvat. Lyönti tunnetaan myös mailaa pitävässä kädessä. Vuorovaikutus on aina kahden kappaleen välillä, joten se vaikuttaa myös molempiin osapuoliin. Vuorovaikutuksessa syntyy aina kaksi voimaa, **voima ja vastavoima**.

Voima vaikuttaa kiekkoon ja vastavoima vaikuttaa mailaan. Jokaisella voimalla on aina vastavoima. Voima ja vastavoima vaikuttavat aina eri kappaleisiin. Ne ovat yhtä suuria, mutta vastakkaissuuntaisia.

Kun tarkastellaan tietyn kappaleen liikettä tai mahdollista tasapainoa, määräävät liiketilan yksinomaan kappaleeseen vaikuttavat voimat. Kaikilla niillä on vastavoimansa, mutta ne taas vaikuttavat eri kappaleisiin.

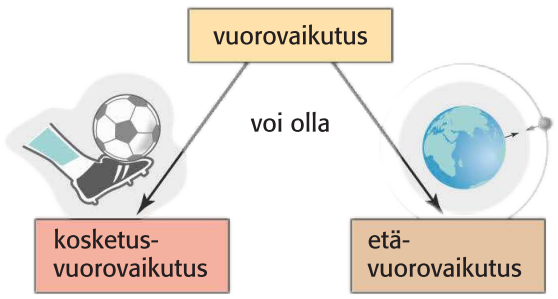
Voima kuvaa vuorovaikutuksen voimakkuutta

Vuorovaikutuksen voimakkuus kappaleen ja ympäristön välillä voi vaihdella. Jääkiekon liike muuttuu enemmän, jos sitä lyödään lujemmin. Vuorovaikutuksen voimakkuutta kuvaa suure **voima**.

Kun jääkiekkopelaaja haluaa tehdä maalin, hänen tulee tietää mihin suuntaan ja kuinka lujaa hän lyö kiekkoa mailallaan. Lyönnissä on siis oleellista lyönnin suunta ja kovuus eli lyönnin voiman suuruus. Voimaan liittyy siis sekä suunta että suuruus. Suureita, joihin liittyy sekä suuruus että suunta, kutsutaan **vektorisuureiksi**. Voima on vektorisuure. Kuvissa vektoreita esitetään nuolilla ja suureen symbolin päälle piirretään viiva $\bar{F}$.

Voimavektorin pituus ilmoittaa voiman suuruuden ja nuolen kärki sen suunnan. Voimavektorit voidaan nimetä sen mukaan, mitkä kaksi kappaletta tilanteessa vuorovaikuttavat. Esimerkiksi voimaa, jolla maila vaikuttaa kiekkoon voidaan merkitä symbolilla $\bar{F}_{\text{maila kiekkoon}}$. Tämä merkintä kertoo, mitkä kaksi kappaletta vuorovaikuttavat.

Vuorovaikutuksista aiheutuu yleensä joko työntöjä tai vetoja. Työnnöt suuntautuvat aina kappaletta kohti ja vedot kappaleesta poispäin.



Voima voi olla kosketusvoima tai etävoima

Vuorovaikutukset luokitellaan niiden ominaisuuksien mukaan kosketusvuorovaikutuksiin ja etävuorovaikutuksiin. Jääkiekon lyönti on esimerkki kosketusvuorovaikutuksesta ja siitä seuraa **kosketusvoima**. Kuun ja Maan välillä on etävuorovaikutus, sillä Maa ja Kuu eivät ole kosketuksissa toisiinsa, vaikka ne vaikuttavat toisiinsa. Tähän vuorovaikutukseen liittyvää voimaa kutsutaan **etävoimaksi**.

Kappaleeseen vaikuttavat voimat kartoitetaan vastaamalla kahteen edellä esitettyyn kysymykseen.

1. Vaikuttaako kappaleeseen etävoimia?
2. Vaikuttaako kappaleeseen kosketusvoimia?

Potkun jälkeen pallo lentää ilmassa. Palloon vaikuttaa Maan vetovoima.

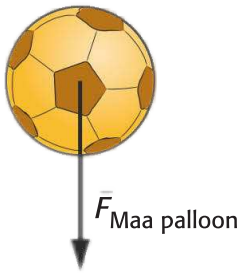
Voimien tunnistaminen

Tarkastellaan jalkapalloon vaikuttavia voimia hetkellä, jolla pallo lentää potkun jälkeen ilmassa. Jalka ei kosketa palloon, eikä pallo ole kosketuksissa maanpinnan kanssa.

Kartoitetaan palloon vaikuttavat voimat vastaamalla kahteen kysymykseen.

1. Vaikuttaako palloon etävoimia?
   Palloon vaikuttaa Maan vetovoima.
2. Vaikuttaako palloon kosketusvoimia?
   Pallo ei ole kosketuksissa minkään kappaleen kanssa, joten siihen ei vaikuta kosketusvoimia.

Tässä oletetaan, että pallon ilmanvastus on pieni ja voidaan jättää huomiotta. Pallo ei ole kosketuksessa jalan kanssa potkun jälkeen. Palloon vaikuttaa siis vain Maan vetovoima.



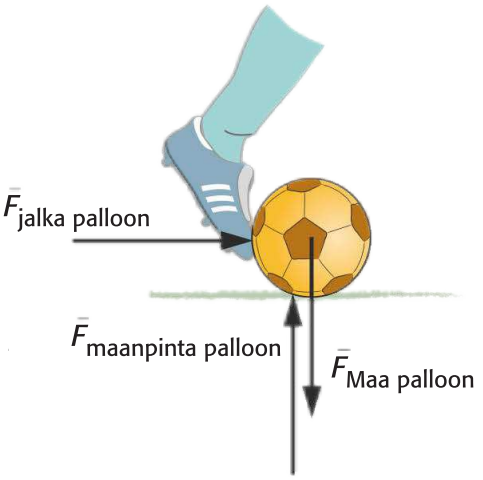
Pallon voimakuvio

Voimakuvion piirtäminen

Kappaleen liikkeeseen vaikuttavat ainoastaan siihen kohdistuvat voimat, eivät muihin kappaleisiin vaikuttavat vastavoimat. Esimerkiksi jalkapallon liikkeeseen ei vaikuta jalkaan kohdistuvat voimat. Tätä tilannetta havainnollistamaan piirretään niin sanottu **voimakuvio**. Voimakuviossa tutkittava kappale on irrotettu ympäristöstään. Ainoastaan tutkittava kappale ja siihen vaikuttavat voimat piirretään näkyviin.

Palloon vaikuttaa Maan vetovoima. Palloon ei vaikuta jalka, koska se ei enää koske palloon. Ilmassa lentävään palloon ei vaikuta ns. ”potkuvoima”. Palloa ei voi ohjata jalalla sen jälkeen, kun se on irronnut jalasta.

Mikäli et keksi, minkä kappaleen kirjoittaisit voiman symbolin alaindeksiksi, voima saattaa olla kuvitteellinen.



Pallon voimakuvio

Voimakuvio, kun kappaleeseen vaikuttaa useita voimia

Edellä palloa tarkasteltiin tilanteessa, jossa palloon vaikutti vain Maan vetovoima. Todellisuudessa tilanne ei ole näin yksinkertainen, vaan palloon vaikuttaa useita voimia yhtä aikaa. Jos muut voimat ovat hyvin pieniä, ne voidaan merkityksettöminä jättää huomiotta.

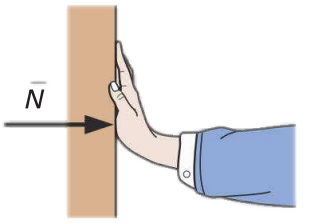
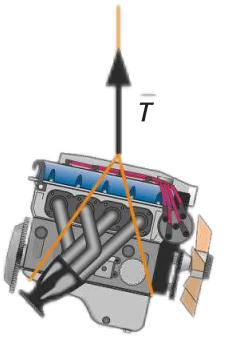
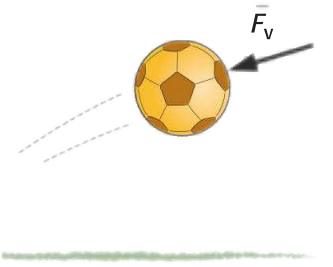
Tarkastellaan nyt jalkapalloa hetkellä, jolla jalka osuu palloon, mutta pallo on yhä kosketuksissa maanpinnan kanssa. Kartoitetaan jälleen palloon vaikuttavia voimia vastaamalla kahteen kysymykseen.

1. Vaikuttaako palloon etävoimia?
   Palloon vaikuttaa Maan vetovoima.
2. Vaikuttaako palloon kosketusvoimia?
   Palloon vaikuttaa kosketusvoimia, koska pallo on kosketuksessa maanpinnan ja jalan kanssa.

Palloon vaikuttaa siten kolme voimaa:
$\bar{F}_{\text{jalka palloon}}$, $\bar{F}_{\text{maanpinta palloon}}$ ja $\bar{F}_{\text{Maa palloon}}$.

Kun voimat tunnetaan, pallon voimakuvio voidaan piirtää.

Erilaisia voimia

				
Voima ja sen tunnus	painovoima G	pinnan tukivoima N	narun tukivoima T	ilmanvastus F_{v}
Tyyppi	etävoima, veto	kosketusvoima, työntö	kosketusvoima, veto	kosketusvoima, työntö
Suuruus ja suunta	Suuruus on kullekin kappaleelle vakio, ja riippuu kappaleen massasta. Suunta on alaspäin.	Suuruus riippuu tilanteesta. Suunta on kohtisuorassa tukipinnasta poispäin.	Suuruus riippuu tilanteesta. Suunta on jännitetyn narun suuntaan kappaleesta poispäin.	Suuruus riippuu kappaleen muodosta ja nopeudesta. Suunta on liikkeen suunnalle vastakkainen.

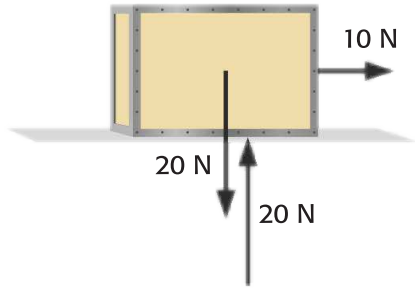
Tiivistelmä

- Vuorovaikutus on kosketusvuorovaikutus tai etävuorovaikutus.
- Voima on suure, joka kuvaa vuorovaikutuksen voimakkuutta.
- Voiman tunnus on F ja yksikkö newton (N).
- Voima on vektorisuure: Voimalla on sekä suuruus että suunta.

Esimerkki 1 — Voimakuvion piirtäminen

Piirrä laatikon voimakuvio, kun siihen vaikuttava seuraavat voimat: laatikkoa vedetään vaakasuoralla 10 N:n voimalla, laatikon paino on 20 N ja alusta vaikuttaa laatikkoon 20 N:n tukivoimalla.

Ratkaisu

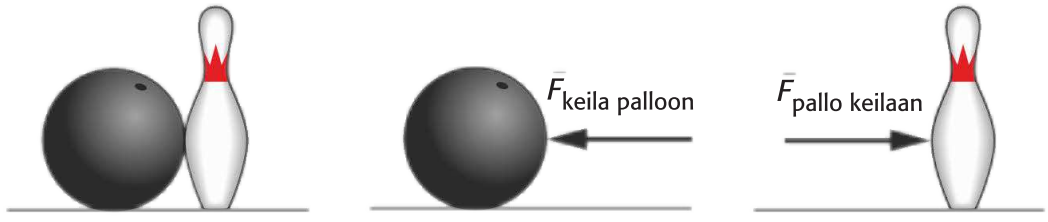


Esimerkki 2 — Törmäyksestä aiheutuvat voimat

Keilapallo törmää keiloihin. Tarkastele pallon ja keilojen vuorovaikutuksesta syntyviä voimia.

Ratkaisu

Pallo ja keilat ovat kosketusvuorovaikutuksessa. Vuorovaikutuksesta aiheutuu molempiin kohdistuvat voimat. Vaikka keilapallo liikkuu, se aiheuttaa keilaan yhtä suuren voiman kuin keila palloon. Voimat ovat yhtä suuret, mutta vastakkaissuuntaiset.



Kuvassa pallo ja keila on piirretty erilleen, jotta voimat saadaan selvemmin piirrettyä.

Esimerkki 3 — Paikallaan olevaan kappaleeseen vaikuttaa voimia

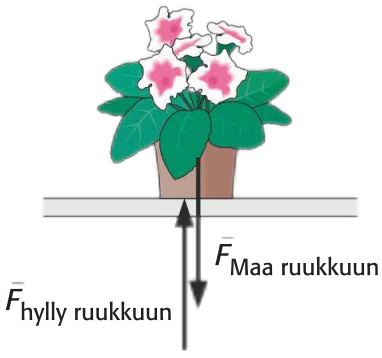
Tee voimakuvio kukkahyllyllä paikallaan olevasta kukkaruukusta.

Ratkaisu

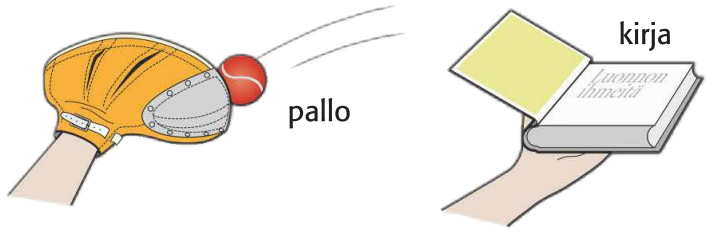
Kartoitetaan kukkaruukkuun vaikuttavat voimat.

1. Ruukku on etävuorovaikutuksessa Maan kanssa, joten siihen vaikuttaa etävoima $\bar{F}_{\text{Maa ruukkuun}}$.
2. Ruukku on kosketusvuorovaikutuksessa kukkahyllyn kanssa, joten siihen vaikuttaa kosketusvoima $\bar{F}_{\text{hylly ruukkuun}}$.

Tehdään ruukun voimakuvio, jossa näkyvät nämä ruukkuun kohdistuvat voimat.



90. **a)** Minkä kappaleiden kanssa kuviin merkityt kappaleet ovat vuorovaikutuksessa?
b) Mitä voimia kappaleisiin vaikuttaa?

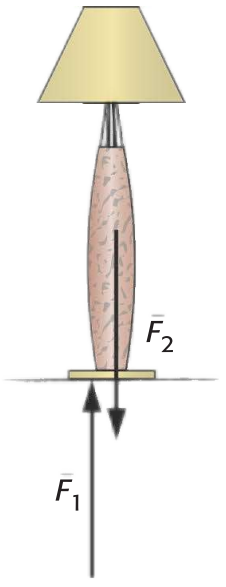


91. Luokittele kappaleeseen vaikuttavat voimat työntöihin ja vetoihin. Tutkittavan kappaleen nimi on lihavoitu.
a) Maa ja **Kuu**
b) trampoliini ja **urheilija**
c) **nuoli** ja jousen jänne
d) seinä ja **nojaaja**
e) **vene** ja vesi
f) **ovenkahva** ja käsi

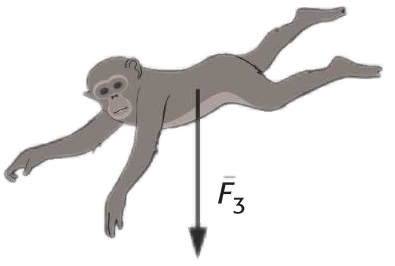
92. Seuraavassa on esitetty valmis voimakuvio ja luettelo voimista. Etsi luettelosta sopiva nimi kuvion voimille F_1, F_2 ja F_3.

Voimaluettelo:
$F_{\text{Maa valaisimeen}}$
$F_{\text{valaisin Maahan}}$
$F_{\text{lattia valaisimeen}}$
$F_{\text{valaisin lattiaan}}$
$F_{\text{Maa apinaan}}$
$F_{\text{apina Maahan}}$
$F_{\text{hyppy apinaan}}$

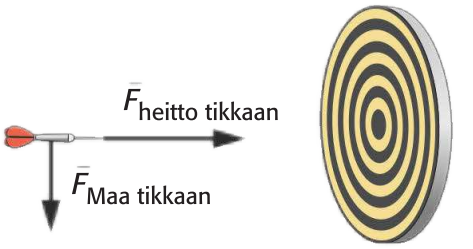
a) Valaisin lattialla



b) Apina hyppää puusta toiseen hakemaan banaania



93. Tikka heitetään ja se lentää kohti taulua. Oheinen kuva esittää lentävän tikan voimakuviota, joka ei ole oikein. Korjaa virheet.



94. Piirrä seuraavia tilanteita havainnollistavat kuvat ja kuviin voimanuolet. (Piirroksessa 1 cm vastaa 10 newtonia.)
a) Katosta roikkuva lamppu. Lamppuun vaikuttaa Maan vetovoima 25 N ja ripustuslangan tukivoima 25 N.
b) Ilmassa lentävä kivi. Kiveen vaikuttaa Maan vetovoima 40 N. Esim. ①

95. Mitkä seuraavista vuorovaikutuksista ovat etävuorovaikutuksia ja mitkä kosketusvuorovaikutuksia?
a) Maa ja Aurinko
b) putoava höyhen ja Maa
c) putoava vesipisara ja Maa
d) jalka ja lattia

96. Piirrä voimakuvio kappaleelle, joka on lihavoitu. Esim. ③
a) **kirja** pöydällä
b) **golfpallo** lentää ilmassa vinosti ylöspäin

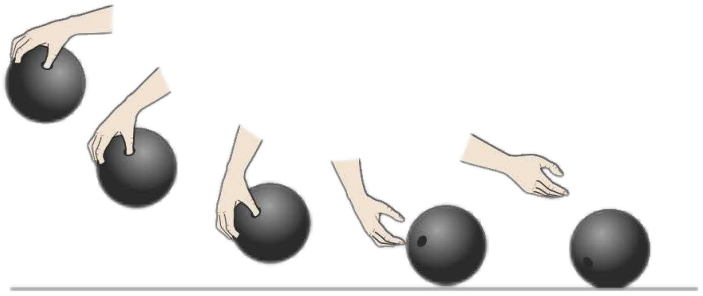
97. Mitä ovat seuraavien voimien vastavoimat? Mitä voit todeta näiden kahden voiman keskinäisestä suuruudesta?
a) Kirja työntää pöytää.
b) Vene työntää vettä.
c) Maa vetää Kuuta. Esim. ②

98. Laskuvarjohyppääjä putoaa kohti maanpintaa. Tarkastellaan hetkeä juuri hypyn alussa, jolloin varjo ei ole vielä avautunut.
a) Mitä voimia hyppääjän vaikuttaa?
b) Piirrä hyppääjän voimakuvio.

99. Piirrä voimakuvio tilanteesta, jossa suoraan ylöspäin heitetty pallo
a) on vielä matkalla lakipisteeseensä
b) on lakipisteessään
c) pallo on paikallaan maassa.

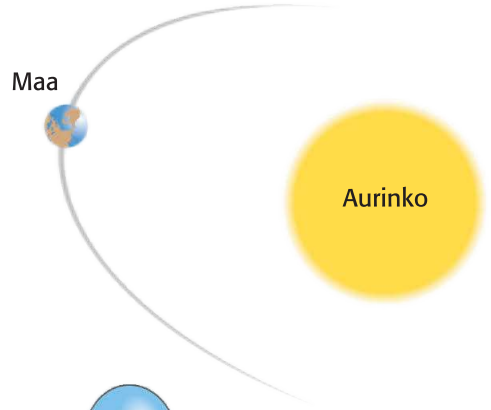
100. Lattialla olevan laatikon päällä on kukkavaasi.
a) Piirrä vaasin voimakuvio.
b) Piirrä laatikon voimakuvio.

101. Oheinen kuva esittää keilapallon liikettä ennen ja jälkeen heiton. Mitä voimia vaikuttaa palloon kullakin hetkellä?

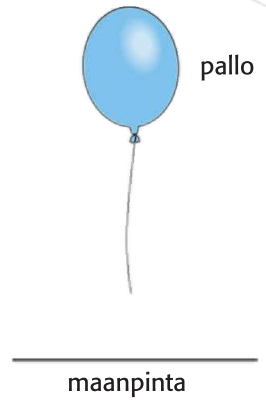


102. Sudenkorento törmää auton tuulilasiin. Tarkastele vuorovaikutuksessa syntyviä voimia.
a) Piirrä autoon vaikuttava voima.
b) Piirrä sudenkorentoon vaikuttava voima.
Kiinnitä erityistä huomiota voimien suuruuteen
Esim. 2

103. Piirrä nimettyjen kappaleiden väliseen vuorovaikutukseen liittyvät voima ja vastavoima.
a)



b)



c)

104. Selosta, miten Maan ja ilmaan heitetyn pallon vuorovaikutus voidaan havaita. Miten tämän vuorovaikutuksen vaikutukset Maahan ja palloon poikkeavat toisistaan ja miksi?

105. Auto vetää asuntovaunua yhtä suurella, mutta vastakkaissuuntaisella voimalla kuin asuntovaunu autoa. Miksi asuntovaunu kuitenkin liikkuu?

106. Uuden sähköauton mainoksessa on teksti ”Kiihdytyksen voima painaa sinut istuimen selkänojaan”. Mikä virhe tässä lauseessa on?

107. Kokeile
Miten kaupan ostoskärryjen kiihdyttäminen eroaa, kun kärryt ovat tyhjät ja lastatut?

9 Kokonaisvoima aiheuttaa liikkeen muutoksen

Newtonin I laki
Kappale jatkaa liikettään suoraviivaisesti muuttumattomalla nopeudella tai pysyy levossa, jos se ei ole vuorovaikutuksessa muiden kappaleiden kanssa.

Jatkavuuden laki antaa ehdot liikkeen muutokselle

Kappaleen liike voi muuttua vain, jos se on vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Milloin kappale on levossa tai liikkuu tasaisesti? Kysymykseen on kaksi vastausta. Niistä toinen tunnetaan Newtonin I lakina. Sen mukaan kappale on levossa tai liikkuu tasaisesti, jos se ei ole vuorovaikutuksessa muiden kappaleiden kanssa. Toinen vastaus liittyy tilanteeseen, jossa kappale on vuorovaikutuksessa muiden kappaleiden kanssa ja siihen vaikuttaa useita voimia.

Newtonin I lain merkitys on erityisesti siinä, että se kertoo ehdon liikkeen muuttumiselle. Kappaleen liikkeen muuttamiseen tarvitaan vuorovaikutus toisen kappaleen kanssa.

Tasaiseen liikkeeseen ei tarvita voimaa

Jatkavuuden lain sisältö tuntuu ensi alkuun itsestään selvältä, mutta tarkempi tutkiskelu kertoo aivan muuta. On selvää, että kappale pysyy paikallaan, jos siihen ei vaikuta voimia, eli jos sitä ei työnnetä tai vedetä. Sen sijaan on huomattavasti vaikeampi ymmärtää, että tasaisen liikkeen ylläpitämiseen ei tarvita voimaa.

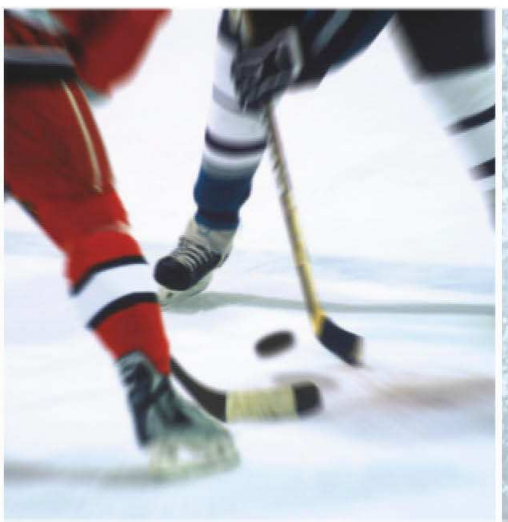
Kokemukset arkielämästä ovat aivan muuta, sillä esimerkiksi polkupyörää on poljettava vaakasuoralla tielläkin, että sen nopeus pysyisi vakiona. Polkupyörä ei kuitenkaan ole Newtonin I lain mukainen kappale, sillä se on vuorovaikutuksessa Maan, maanpinnan ja ilman kanssa. Näistä vuorovaikutuksista aiheutuu liikettä vastustavia voimia, kuten ilmanvastus ja renkaiden vierimisvastus.

Itse asiassa Newtonin I lain mukaista ympäristöä, jossa kappale ei ole vuorovaikutuksessa muiden kappaleiden kanssa, ei ole olemassa.

Jääkiekko liukuu tasaisella jäällä suoraviivaisesti ja pysähtyy jonkin matkan kuluttua. Kiekon hidastumisen aiheuttaa kiekon ja jään välinen vuorovaikutus.

Kiekko ei myöskään lähde itsestään liikkeelle, vaan sitä pitää lyödä mailalla.

Kiekon liikesuunta ei muutu itsestään. Kiekon liikesuunta muuttuu, jos se osuu pelaajan mailaan tai kaukalon reunaan. Muutoksen aiheuttaa kiekon ja mailan lavan välinen vuorovaikutus.

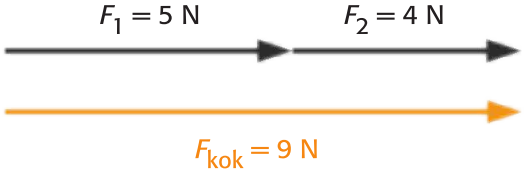


Kuvittele, millaista kiekon liike olisi täysin liukkaalla ja ilmanvastuksettomalla jäällä?

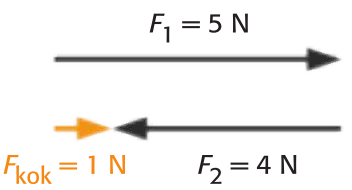
Suurempi voima aiheuttaa suuremman kiihtyvyyden. Kelkan eteen valjastettu koiravaljakko vetää kelkkaa suuremmalla voimalla kuin yksi koira vetäisi, ja kelkan vauhti kiihtyy nopeammin.

Dynamiikan peruslaki eli
Newtonin II laki $F = ma$.

Samansuuntaiset voimat



Vastakkaissuuntaiset voimat



Kiihtyvyys on aina kokonaisvoiman suuntainen.

Kiihtyvyys riippuu voimasta ja kappaleen massasta

Newtonin I laista seuraa, että kappaleen nopeuden muuttamiseen tarvitaan aina vuorovaikutus toisen kappaleen kanssa. Nopeuden muutosta kuvataan suureella kiihtyvyys. Kappaleen liikkeen muuttuminen riippuu siihen vaikuttavasta voimasta. Kovempi potku muuttaa jalkapallon nopeutta enemmän kuin kevyt kosketus. Kappaleen liikkeen muutos riippuu myös kappaleen massasta. Raskasta kappaletta on vaikeampi pysäyttää tai saada liikkeeseen kuin kevyttä kappaletta.

Dynamiikan peruslaki kertoo kiihtyvyyden ja voiman yhteyden

Newtonin II laki eli dynamiikan peruslaki kertoo täsmällisesti, miten voimat muuttavat kappaleen liikettä. Kappaleeseen vaikuttava voima F antaa kappaleelle kiihtyvyyden a. Kappaleeseen vaikuttavan voiman, kappaleen massan ja kappaleen saaman kiihtyvyyden välillä on yhteys $F = ma$.

Koska $F = ma$, voidaan voiman yksikkö newton lausua muiden yksiköiden avulla seuraavasti:

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot 1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 1\frac{\mathrm{kgm}}{\mathrm{s}^2}.$$

Kokonaisvoima on voimien summa

Kun kappaleeseen kohdistuu useita voimia, voimien yhteisvaikutusta kutsutaan **kokonaisvoimaksi** ja merkitään F_{kok}.

Samansuuntaisten voimavektoreiden summa saadaan piirtämällä voimavektorit peräkkäin. Kun voimien suuruudet tunnetaan, kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima voidaan laskea osavoimien suuruuksien summana.

Vastakkaissuuntaisten voimien kokonaisvoima saadaan, kun piirretään lyhyempi voimavektori pidemmän voimavektorin kärjestä pienemmän voiman suuntaan. Kokonaisvoima on silloin suuremman voiman vektorin alkupisteestä pienemmän voiman vektorin kärkeen. Kokonaisvoima on siis suuremman voiman suuntainen. Kun voimien suuruudet tunnetaan, kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima voidaan laskea osavoimien suuruuksien erotuksena.

Kokonaisvoima ei ole todellinen voima. Se kuvaa vain kappaleeseen vuorovaikutuksista seuraavia voimien yhteisvaikutusta. Koska se ei ole todellinen voima, sitä ei myöskään piirretä kappaleen voimakuvioon. Voimakuvioon tulevat vain kappaleeseen vaikuttavat voimat.

Jos kappaleeseen vaikuttaa useita voimia, myös dynamiikan peruslaissa $F = ma$, tulee voimana olla kokonaisvoima F_{kok} eli $F_{kok} = ma$.

Kokonaisvoima ja kappaleen liike

Dynamiikan peruslain mukaan kappaleen kokonaisvoiman ja kappaleen liikkeen muuttumisen välillä on yhteys. Jos tunnetaan kokonaisvoima, voidaan päätellä, onko kappaleen liike kiihtyvää vai ei. Vastaavasti jos tunnetaan kappaleen liike, voidaan päätellä millainen kokonaisvoima on. Päättelyssä voi käyttää apuna seuraavia toteamuksia.

1. Jos kokonaisvoima on nolla,
   kappale on tasaisessa liikkeessä tai paikallaan.
2. Jos kokonaisvoima ei ole nolla,
   kappale on kiihtyvässä liikkeessä.
3. Jos kappale on tasaisessa liikkeessä tai paikallaan,
   kokonaisvoima on nolla.
4. Jos kappale on kiihtyvässä liikkeessä,
   kokonaisvoima ei ole nolla.

Kappaleen massa kuvaa hitautta ja painavuutta

Kappaleen ominaisuudet vaikuttavat sen saamaan kiihtyvyyteen. Kevyen jalkapallon nopeutta on helppo muuttaa, mutta raskaan keilapallon liikkeen muuttaminen on huomattavasti vaikeampaa. Kaikki kappaleet vastustavat liikkeen muutosta.

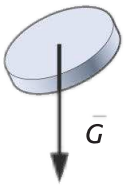
Kappaleen hitaudeksi kutsutaan kappaleen liikkeen muutosta vastustavaa ominaisuutta, ja sitä kuvaa suure **massa**. Mitä suurempi massa kappaleella on, sitä vaikeampi sitä on saada liikkeelle tai pysäyttää, jos se on jo liikkeessä.

Kappaleet putoavat maahan, koska Maa vetää niitä puoleensa. Myös sitä kappaleen ominaisuutta, josta kappaleen paino riippuu, kuvaa suure massa. Jos mikä tahansa kappale päästetään putoamaan tyhjiössä maanpinnan lähellä, Maan vetovoima antaa sille kiihtyvyyden $g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$. Tämä on vapaasti putoavan kappaleen kiihtyvyys, ja sitä sanotaan putoamiskiihtyvyydeksi. Putoamiskiihtyvyyden arvo vaihtelee hieman Maan eri puolilla. Tyhjiössä putoavaan kappaleeseen vaikuttaa ainoastaan Maan vetovoima eli kappaleeseen vaikuttava painovoima. Kappaleeseen vaikuttavaa **painovoimaa** G kutsutaan usein lyhyesti kappaleen **painoksi**.

Massa

Massa on suure, joka kuvaa kappaleen kahta eri ominaisuutta:

1. kappaleen hitautta
2. kappaleen ominaisuutta synnyttää vetovoima ja olla vetovoiman kohteena.



Kappaleen paino saadaan kappaleen massan ja putoamiskiihtyvyyden tulona.
$G = mg$

Huomio!

Kappaleen paino ei ole kappaleen ominaisuus, vaan kappaleeseen kohdistuva Maan vetovoima.

Tiivistelmä

- Dynamiikan peruslaki on $F = ma$.
- Kokonaisvoima on kappaleeseen kohdistuvien voimien kokonaisvaikutus.
- Massa kuvaa kappaleen hitautta ja painavuutta.
- Jatkavuuden lain mukaan kappaleen liike ei muutu, jos kappaleeseen ei vaikuta voimia.
- Kappaleen paino saadaan kappaleen massan ja putoamiskiihtyvyyden tulona.

Esimerkki 1 — Kokonaisvoima saadaan osavoimista laskemalla ja piirtämällä

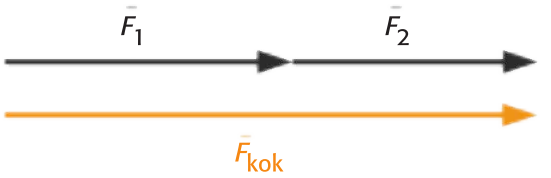
a) Muuttomiehet Pekka ja Kalle siirtävät kaappia siten, että Pekka vetää sitä 200 N voimalla ja Kalle työntää samaan suuntaan 170 N voimalla.
Kuinka suuri ja mihin suuntaan työnnöstä aiheutuvien voimien kokonaisvoima on?

b) Väsyneet muuttomiehet liikuttavat kaappia siten, että Pekka vetää sitä 200 N voimalla ja Kalle vetää vastakkaiseen suuntaan 170 N voimalla.
Kuinka suuri ja mihin suuntaan työnnöstä aiheutuvien voimien kokonaisvoima on?

Ratkaisu

Merkitään tunnuksella F_1 voimaa, jolla Pekka vaikuttaa kaappiin ja tunnuksella F_2 voimaa, jolla Kalle vaikuttaa kaappiin.

a) Kokonaisvoima, saadaan piirtämällä voimanuolet peräkkäin.



Kun voimien suuruudet tunnetaan, kaappiin kohdistuva kokonaisvoima voidaan laskea näiden osavoimien summana.

$F_1 = 200$ N, $F_2 = 170$ N ja

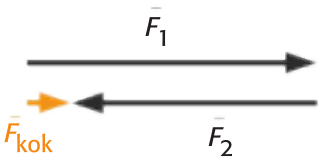
$F_{kok} = 200\text{ N} + 170\text{ N} = 370\text{ N}$.

b) Jos Kalle vetää kaappia vastakkaiseen suuntaan, kokonaisvoima on voimien suuruuksien erotus.

$F_1 = 200$ N, $F_2 = 170$ N ja

$F_{kok} = 200\text{ N} - 170\text{ N} = 30\text{ N}$.

Kokonaisvoima piirtämällä



Vastaus

a) Kokoanisvoima on 370 N ja sen suunta on voimien yhteinen suunta.

b) Kokonaisvoima on 30 N ja sen suunta on suuremman voiman suuntaan.

Esimerkki 2 — Voiman laskeminen massan ja kihtyvyyden avulla

Opiskelijat testasivat ”rakettiautoa”. Auton massa on 0,35 kg. Auton pyörät ovat herkkäliikkeiset. Kuinka suuri kokonaisvoima autoon vaikuttaa, kun sen kiihtyvyydeksi mitattiin 0,25 m/s^2?

Ratkaisu

$m = 0{,}35$ kg, $a = 0{,}25$ m/s^2

Autoon vaikuttavan kokonaisvoiman ja auton kiihtyvyyden suunta on sama, joten voimaa ja kiihtyvyyttä voidaan tarkastella ilman vektorilaskentaa. Newtonin toisen lain mukaan kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima on yhtä suuri kuin kappaleen massan ja kiihtyvyyden tulo, $F = ma$.

Sijoitetaan kokonaisvoiman lausekkeeseen massa ja kiihtyvyys, jolloin saadaan

$$F = 0{,}35\text{ kg} \cdot 0{,}25\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 0{,}0875\frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \approx 0{,}088\text{ N} = 88\text{ mN}.$$

Vastaus

Voiman suuruus on 88 mN.

Esimerkki 3 — Putoava tennispallo

Piirrä suoraan Maata kohti putoavaan palloon vaikuttavat voimat ja kokonaisvoima, kun

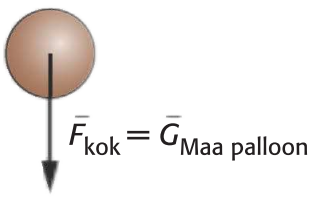
a) ilmanvastus ei ole merkittävä
b) ilmanvastus on merkittävä.
c) Vertaa pallon kiihtyvyyttä a- ja b-kohtien tilanteissa.
d) Laske pallon kiihtyvyys, kun pallon massa on 5,6 kg ja ilmanvastus 1/10 pallon painosta.

Huomaa!

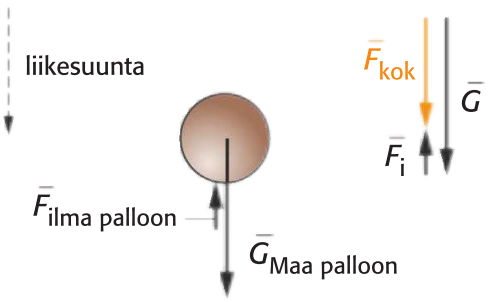
Pallon painon ja ilmanvastuksen arvot ovat niin sanottuja välituloksia ja siksi niitä ei pyöristetä.

Ratkaisu

a) Palloon vaikuttaa ainoastaan painovoima, jonka suunta on suoraan alaspäin. Palloon vaikuttava kokonaisvoima on siten sama kuin paino. Koska palloon vaikuttava kokonaisvoima poikkeaa nollasta, pallon liike on Newtonin II lain mukaan kiihtyvää.



b) Jos ilmanvastus on merkittävä, palloon vaikuttaa kaksi voimaa. Palloon vaikuttava kokonaisvoima on painon ja ilmanvastuksen vektorisumma, ja sen suunta on suoraan alas.



c) b-kohdassa kokonaisvoima on pienempi kuin a-kohdassa, joten myös pallon kiihtyvyys on pienempi.

d) $m = 5{,}6$ kg, $g = 9{,}81$ m/s^2

Lasketaan pallon paino

$$G = mg = 5{,}6\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 54{,}936\ \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}.$$

Lasketaan palloon vaikuttavan ilmanvastuksen suuruus

$$F_i = \frac{1}{10} G = 5{,}4936\ \text{N}.$$

Koska paino on suurempi kuin ilmanvastus, kokonaisvoiman suunta on painon suuntainen eli alaspäin.

$$F_{kok} = G - F_i$$
$$= 54{,}936\ \text{N} - 5{,}4936\ \text{N} = 49{,}4424\ \text{N}$$

Newtonin toisen lain mukaan $F_{kok} = ma$.

Ratkaistaan yhtälöstä kiihtyvyys a.

$$F_{kok} = ma \quad | : m$$
$$a = \frac{F_{kok}}{m}$$
$$= \frac{49{,}4424\ \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}}{5{,}6\ \text{kg}} = 8{,}829\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 8{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Vastaus

d) Pallon kiihtyvyys on 8,8 m/s^2 ja suunta on sama kuin kokonaisvoiman suunta eli suoraan alaspäin.

Esimerkki 4 — Paikallaan olevaan kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima

Kuinka suuri langan tukivoima on, kun kattoon kiinnitetyssä langassa riippuu valaisin, jonka massa on 5,6 kg?

Ratkaisu

$m = 5{,}6$ kg, $g = 9{,}81$ m/s^2

Valaisimeen vaikuttaa kaksi voimaa: etävoima (paino) ja kosketusvoima (langan tukivoima). Piirretään voimakuvio.

Koska valaisin on levossa, $a = 0$. Siten Newtonin II lain $F_{\text{kok}} = ma$ mukaan saadaan

$$F_{\text{kok}} = T - G = 0$$
$$T = G = mg.$$

Sijoittamalla valaisimen massan ja putoamiskiihtyvyyden arvot yhtälöön, saadaan

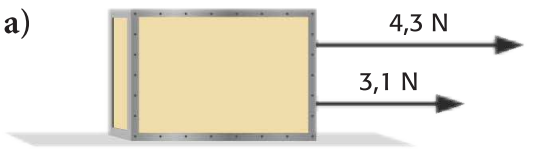
$$T = 5{,}6 \text{ kg} \cdot 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$
$$= 54{,}936 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \approx 55 \text{ N}.$$

Vastaus

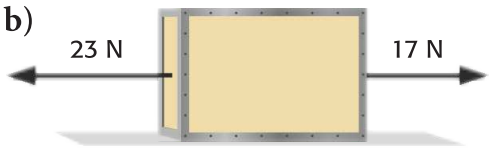
Langan tukivoima on 55 N.

108. Laske kappaleeseen vaikuttavien vaakasuorien voimien kokonaisvoiman suuruus. Esim. 1

a)

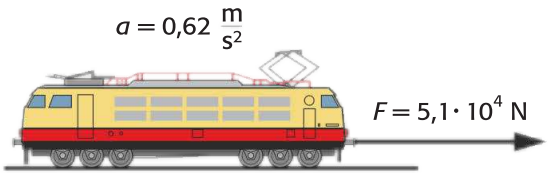


b)



109. Pyörän ja pyöräilijän yhteinen massa on 105 kg. Kuinka suuri pyörään vaikuttavan kokonaisvoiman on oltava, että se antaisi pyörälle kiihtyvyyden $3{,}2\ \mathrm{m/s^2}$? Esim. 2

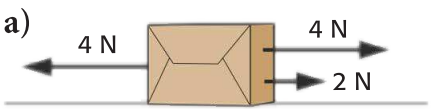
110. Oheiseen kuvaan on merkitty junan veturiin vaikuttava kokonaisvoima ja veturin kiihtyvyys. Laske veturin massa. Esim. 3



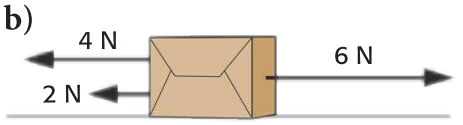
111. a) Matin massa on 62 kg. Laske Matin paino.
b) Liisan paino on 460 N. Kuinka suuri Liisan massa on?

112. Kuvassa on esitetty kappaleisiin vaikuttavat vaakasuorat voimat. Onko kappaleen liike tasaista vai kiihtyvää?

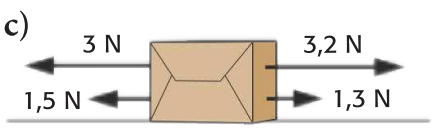
a)



b)



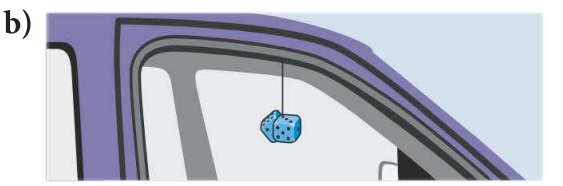
c)



113. Auton katossa riippuu koriste. Millaista auton liike on seuraavissa tilanteissa?

a)

b)



114. Pulkkaa, jonka massa on 7,5 kg, vedetään liukkaalla jäällä 4,7 N:n suuruisella vakiovoimalla.
a) Kuinka suuren kiihtyvyyden pulkka saa? Esim. 3
b) Mikä on pulkan nopeus sekunnin kuluttua lähtöhetkestä?
c) Mikä on pulkan nopeus kolmen sekunnin kuluttua lähtöhetkestä?

115. Kalastaja nostaa ongella ahvenen vedestä suoraan ylöspäin. Ahvenen massa on 450 g ja sen kiihtyvyys on $2{,}5\ \mathrm{m/s^2}$.
a) Piirrä ahvenen voimakuvio.
b) Kuinka suurella voimalla siima vaikuttaa kalaan?

116. Kolme oppilasta Sari, Berit ja Oskari pohtivat auton liikettä tasaisella tiellä. Seuraavassa on esitetty heidän ajatuksensa. Kuka oppilaista on oikeassa?

Sari: ”*Jos auton liike on tasaista, niin siihen ei Newtonin ensimmäisen lain mukaan vaikuta mitään voimia.*”

Berit: ”*Jos auton liike on tasaista, niin Newtonin toisen lain mukaan siitä voidaan päätellä, että autoon vaikuttavien voimien summa on nolla.*”

Oskari: ”*Newtonin toisen lain mukaan auton liike on tasaista, jos siihen vaikuttaa vakio kokonaisvoima.*”

117. Laskuvarjohyppääjän massa on 86 kg.

a) Hypyn tietyllä hetkellä hyppääjän nopeus kasvaa kiihtyvyydellä 3,7 m/s^2. Kuinka suuri hyppääjään vaikuttava ilmanvastus on tällä hetkellä?

b) Kuinka suuri hyppääjään vaikuttava ilmanvastus on, kun putoamisliike on tasaista?

118. Veneen ja soutajan yhteinen massa on 167 kg. Veneen nopeus on 5,3 m/s. Soutaja lakkaa soutamasta, jolloin vene pysähtyy 8,3 sekunnissa. Kuinka suuri venettä hidastava keskimääräinen kokonaisvoima veneeseen vaikuttaa?

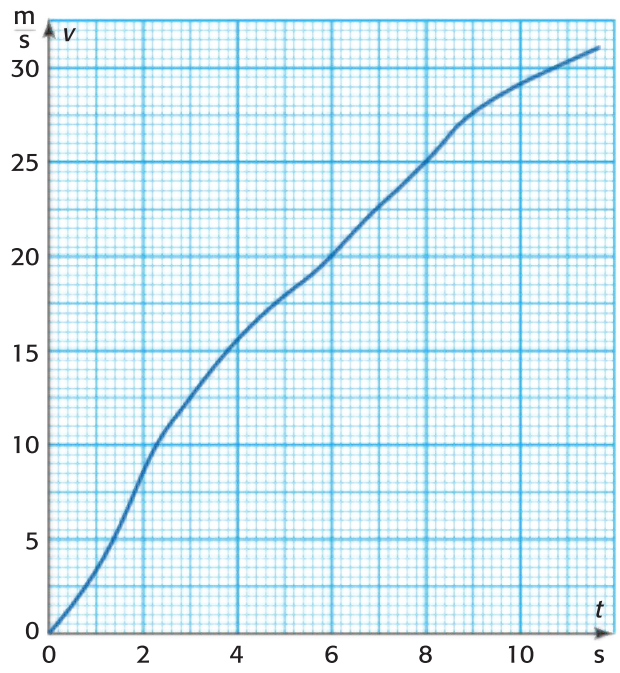
119. Kaksi luistelijaa työntää toisiaan. Maijan kiihtyvyys on 35 m/s^2 ja Matin 25 m/s^2 vastakkaiseen suuntaan.

a) Kumman massa on suurempi?

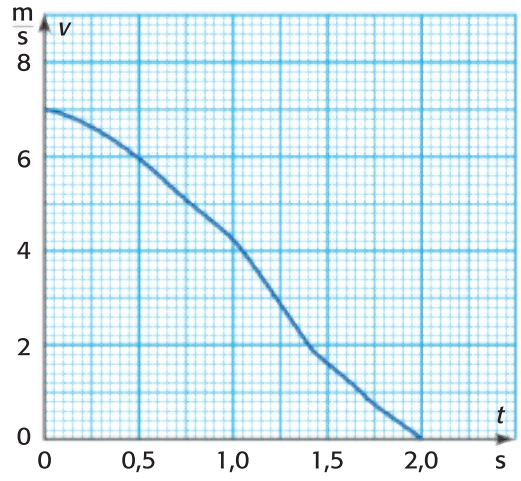
b) Mikä on massojen suhde?

120. Kaksi astronauttia tönäisee toisistaan erilleen. Astronautti Igorin massa on 1,25 kertaa astronautti Peterin massa. Miten astronauttien kiihtyvyydet suhtautuvat toisiinsa?

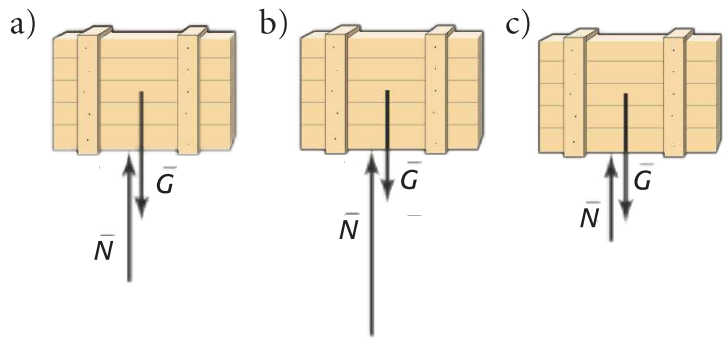
121. Auton nopeus muuttuu kuvaajan mukaisesti. Kuinka suuri autoa kiihdyttävä keskimääräinen kokonaisvoima autoon vaikuttaa 10 ensimmäisen sekunnin aikana, kun auton massa on 890 kg?



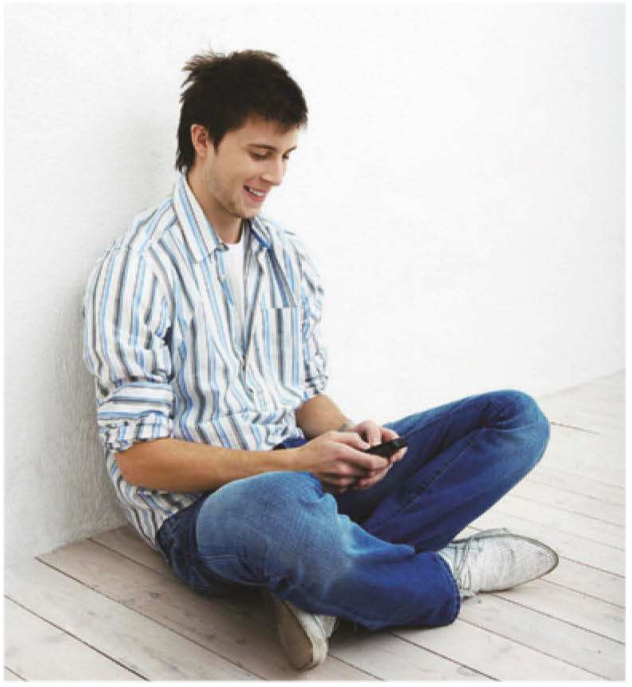
122. Polkupyörän ja pyöräilijän yhteismassa on 105 kg. Ajon aikana nopeus muuttuu kuvaajan mukaisesti. Kuinka suuri jarruttava kokonaisvoima pyörään keskimäärin vaikuttaa?



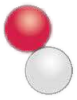
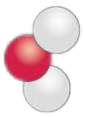
123. Missä tilanteessa laatikon voimakuvio voisi olla alla olevan mukainen?



10 Atomeja kuvataan atomimallilla



Ihminen muodostuu soluista. Solu on elollisen luonnon rakenneosa. Kaikki aine, myös solu, rakentuu atomeista. Atomit järjestyvät molekyyleiksi, joista muodostuu solun toiminnan kannalta tärkeät soluelimet ja toimiva solu.

vety	$^{1}_{1}H$		protoni
deuterium	$^{2}_{1}H$		protoni ja neutroni
tritium	$^{3}_{1}H$		protoni ja kaksi neutroni

Vedyllä on kolme isotooppia.

Atomin ydin muodostuu protoneista ja neutroneista

Ihmiset, eläimet ja kasvit sekä elottoman luonnon kappaleet muodostuvat molekyyleistä ja atomeista. Kaikki aine rakentuu atomeista. Atomin rakennetta on hankala kuvata täsmällisesti, joten atomia kuvattaessa käytetään malleja.

Atomimallin mukaan atomissa on ydin ja sen ympärillä elektroniverho, joka koostuu **elektroneista**. Ytimen rakenneosia ovat **protonit** ja **neutronit**. Protoneilla on positiivinen sähkövaraus ja elektroneilla on yhtä suuri mutta negatiivinen sähkövaraus. Tämän sähkövarauksen suuruutta sanotaan **alkeisvaraukseksi** ja sitä merkitään tunnuksella *e*. Neutroneilla ei ole sähkövarausta.

Protonien lukumäärä ilmaisee alkuaineen

Alkuaineet eroavat toisistaan atomin ytimen ja elektroniverhon rakenteen perusteella. Maapallolla on 92 alkuainetta, joista kevein on vety ja raskain uraani. Uraania raskaampia alkuaineita voidaan valmistaa keinotekoisesti. Niitä tunnetaan lähes 30 erilaista, mutta ne eivät ole pysyviä.

Protonien lukumäärää nimitetään **protoni**- eli **järjestysluvuksi** Z ja se ilmaisee, minkä alkuaineen ydin on kyseessä. Saman alkuaineen atomien ytimissä on aina sama määrä protoneja. **Neutroniluku** N kertoo, kuinka monta neutronia ytimessä on.

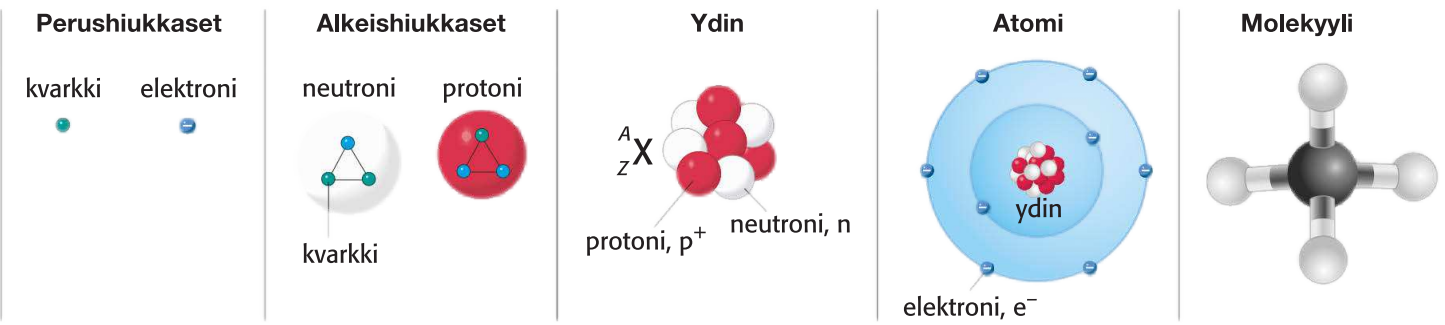
Saman alkuaineen eri atomien ytimissä voi olla eri määrä neutroneja. Näitä saman alkuaineen erimassaisia ytimiä sanotaan **isotoopeiksi**. Esimerkiksi vetyatomien ytimissä on aina yksi protoni, mutta neutronien lukumäärä voi olla 0, 1 tai 2. Siten vedyllä on kolme isotooppia.

Ytimen protonien ja neutronien yhteistä lukumäärää $A = Z + N$ nimitetään ytimen **massaluvuksi**.

Ytimen tunnuksena käytetään alkuaineen tunnusta X, johon liitetään järjestysluku ja massaluku $^{A}_{Z}X$. Siis X:n tilalle kirjoitetaan kulloisenkin alkuaineen tunnus, esimerkiksi happi $^{16}_{8}O$. Kirjoitetussa tekstissä alkuaineen nimeen yhdistetään yleensä vain massaluku. Esimerkiksi $^{12}_{6}C$ kirjoitetaan hiili-12.

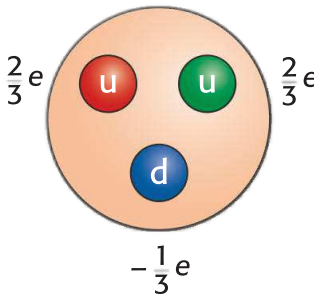
Rakentumisperiaate

Luonnon rakenneosat muodostavat ketjun. Jokainen rakenneosa rakentuu pienemmistä rakenneosista. Kvarkeilla ja elektroneilla ei ole sisäistä rakennetta.



Perushiukkaset
- kvarkit (kuusi lajia)
- leptonit (kuusi lajia)

Maailmankaikkeudessa havaittu materia koostuu ylöskvarkeista, alaskvarkeista ja elektroneista.



Kuvassa on protonin kvarkkirakenne. Protoni muodostuu kahdesta ylöskvarkista ja yhdestä alaskvarkista. Kvarkeista muodostuneen hiukkasen sähkövaraus on sen sisältämien kvarkkien varausten summa

$$\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e + (-\frac{1}{3}e) = \frac{3}{3}e = 1e.$$

Kvarkit ja leptonit ovat perushiukkasia

Protonit ja neutronit muodostuvat vielä pienemmistä hiukkasista, joita kutsutaan **kvarkeiksi**. Kvarkkeja tunnetaan kuusi erilaista. Niiden tunnukset perustuvat englanninkielisiin nimiin, jotka ovat täysin keksittyjä eivätkä kuvaa kvarkkien ominaisuuksia.

Protonit ja neutronit rakentuvat ylöskvarkeista (u) ja alaskvarkeista (d). Kvarkkien sähkövarausten suuruudet ovat alkeisvarauksen *e* osia. Kolmen kvarkin yhdistelmänä neutronien sähkövaraus on nolla ja protonien sähkövaraus on yhden alkeisvarauksen suuruinen.

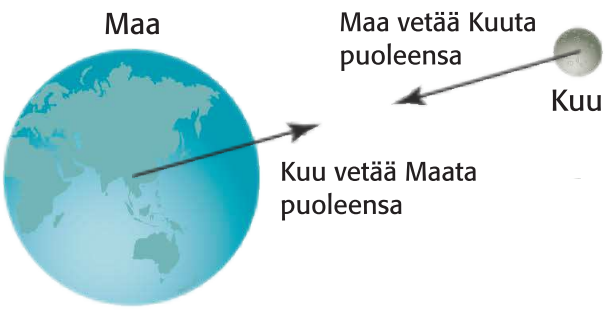
Kvarkit

Nimi	Tunnus (nimi englanniksi)	Sähkövaraus
ylöskvarkki	u (up)	+2/3 *e*
alaskvarkki	d (down)	−1/3 *e*

Perushiukkasten toinen laji on **leptonit**, joita myös on kuusi erilaista. Tutuin leptoni on elektroni. Leptoneilla, ja siten myös elektroneilla, ei ole sisäistä rakennetta.

Atomivoimamikroskoopin avulla voidaan "nähdä" atomin kokoisia yksityiskohtia. Kuvassa valkoiseksi värjätyt kohdat ovat hiiliatomeja.

Kun olet vaa'alla, mittaat itse asiassa gravitaatiovuorovaikutuksen voimakkuutta. Maa vetää sinua puoleensa, ja siksi painat vaa'an pintaa alaspäin.



Gravitaatiovuorovaikutuksen voimakkuus riippuu vuorovaikuttavien kappaleiden massoista ja niiden keskipisteiden välisestä etäisyydestä. Gravitaatiovoima on aina vetovoima. Newtonin III -lain mukaan Kuuhun ja Maahan kohdistuvat voimat ovat yhtä suuret.

Hangattu ilmapallo ja hangatut karvat ovat sähköisiä. Sähkömagneettinen vuorovaikutus määrää aineen kappaleen rakenteen.

Samanmerkkisesti varautuneet kappaleet hylkivät toisiaan ja erimerkkisesti varautuneet kappaleet vetävät toisiaan puoleensa. Sähkömagneettinen vuorovaikutus yltää äärettömän kauas.

Perusvuorovaikutukset ovat etävuorovaikutuksia

Maailmankaikkeudessa havaitut kaikki fysikaaliset vuorovaikutukset voidaan selittää neljän **perusvuorovaikutuksen** avulla, joita ovat gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva ja heikko vuorovaikutus. Kaikki perusvuorovaikutukset ovat etävuorovaikutuksia, eli ne vaikuttavat kappaleiden tai hiukkasten välillä.

Gravitaatiovuorovaikutus havaitaan painona

Ylöspäin heitetty pallo putoaa maanpinnalle, koska Maa vetää palloa puoleensa. Maan ja pallon välillä on **gravitaatiovuorovaikutus**. Gravitaatiovuorovaikutus havaitaan maanpinnalla painona.

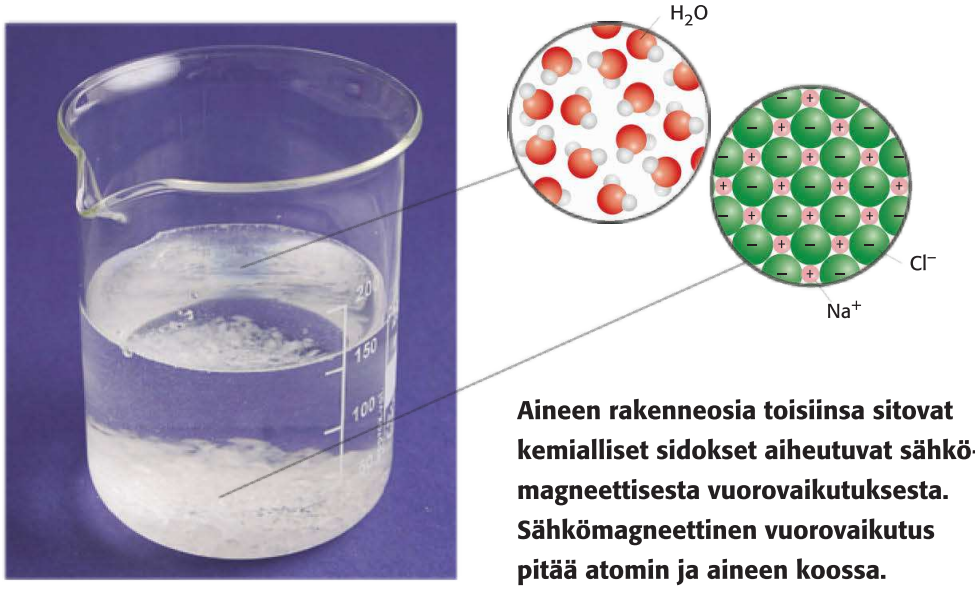
Gravitaatiovuorovaikutus pitää myös Kuun Maata kiertävällä radalla ja Maan Aurinkoa kiertävällä radalla. Gravitaatiovuorovaikutus yltää äärettömän kauas. Esimerkiksi Auringon vetovoima ulottuu paitsi Aurinkokunnan kiertolaisiin myös hyvin heikkona periaatteessa maailmankaikkeuden jokaiseen muuhun kappaleeseen.

Sähkömagneettinen vuorovaikutus pitää aineen koossa

Hiukset ja ilmapallo saavat sähkövarauksen, kun niitä hangataan toisiinsa. Hiukset, jotka ovat varautuneet samanmerkkisesti, pörröttävät. Ilmapallon ja hiusten sähkövaraus on erimerkkinen. Ne vetävät toisiaan puoleensa.

Kaikki sähköiset ilmiöt ovat **sähkömagneettisen vuorovaikutuksen** seurausta. Se pitää atomin ja aineen koossa, eli kemialliset sidokset muodostuvat sähkömagneettisen vuorovaikutuksen seurauksena.

Muun muassa jääkiekkoa lyötäessä mailan ja kiekon välillä on kosketusvoimia. Pöydällä olevaa oppikirjaa tukee pöydän tukivoima, joka on myös kosketusvoima. Kaikki kosketusvoimat selittyvät sähkömagneettisen vuorovaikutuksen avulla.



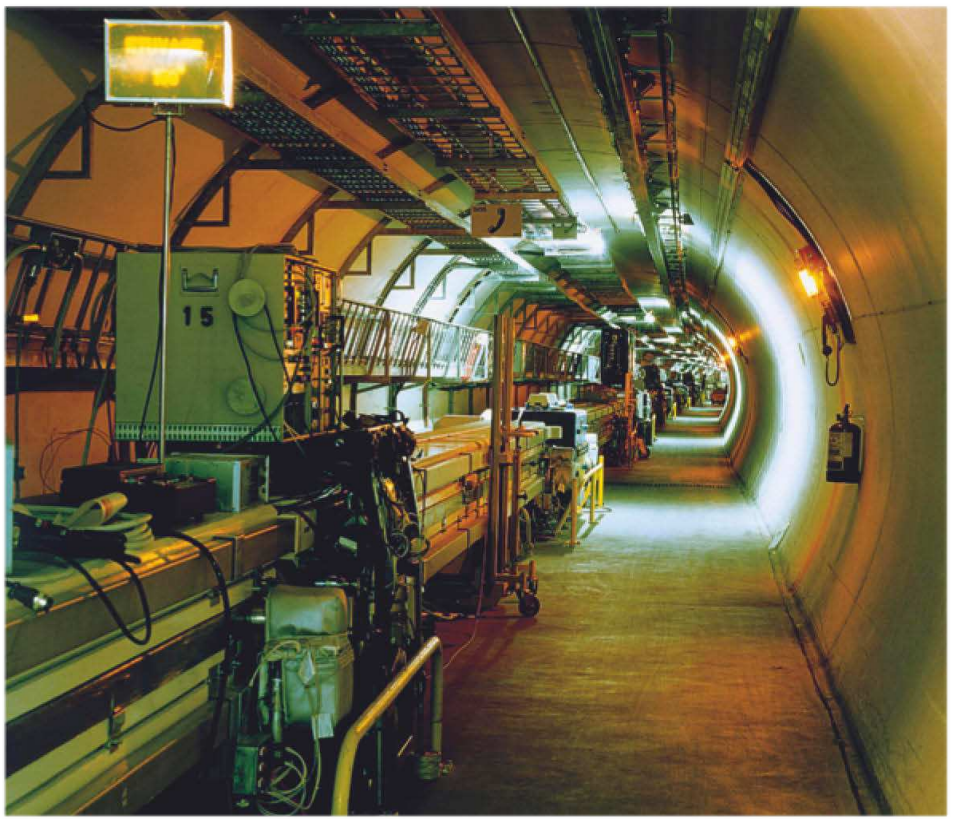
Aineen rakenneosia toisiinsa sitovat kemialliset sidokset aiheutuvat sähkömagneettisesta vuorovaikutuksesta. Sähkömagneettinen vuorovaikutus pitää atomin ja aineen koossa.

Luonnon neljä perusvuorovaikutusta ovat gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus.

Vahva ja heikko vuorovaikutus havaitaan hiukkastasolla

Gravitaatio- ja sähkömagneettisen vuorovaikutuksen lisäksi on olemassa **vahva** ja **heikko vuorovaikutus**, jotka vaikuttavat atomin ytimessä. Vahva vuorovaikutus vaikuttaa kvarkkien välillä. Vahvan vuorovaikutuksen ansiosta atomien ytimet pysyvät koossa, vaikka ytimessä olevien protonien välillä vaikuttaa sähköisiä poistovoimia.

Heikon vuorovaikutuksen aiheuttamat reaktiot mahdollistavat esimerkiksi vedyn fuusioitumisen heliumiksi tähdissä. Heikko vuorovaikutus aiheuttaa myös raskaiden atomiytimien hajoamisen.



Hiukkasia tutkitaan törmäyttämällä niitä toisiinsa hiukkaskiihdyttimessä valtavalla nopeudella. Genevessä sijaitsevassa Euroopan hiukkastutkimuslaitoksessa Cernissä on yksi maailman suurimmista hiukkaskiihdyttimistä.

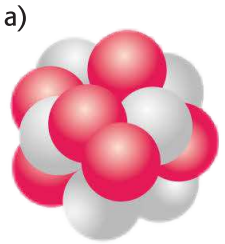
Tiivistelmä

- Atomissa on ydin ja ytimen ympärillä elektroniverho.
- Elektronit ovat elektroniverhossa, ja niillä on negatiivinen sähkövaraus.
- Protonit ja neutronit ovat atomin ytimessä. Protoneilla on positiivinen sähkövaraus ja neutronit ovat sähköisesti neutraaleja.
- Protonit ja neutronit muodostuvat kolmesta kvarkista. Elektroni on leptoni.
- Luonnossa on neljä perusvuorovaikutusta: gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus.

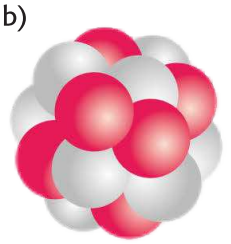
Esimerkki 1 — Ytimen protonit ja neutronit, isotooppi

Kuvassa on mallinnettu kahta erilaista hiili-isotoopin ydintä. Esitä ytimien rakenne merkinnällä $^{A}_{Z}\mathrm{X}$.
Punaiset pallot esittävät protoneita ja valkoiset pallot neutroneita. Takana ei ole piilossa yhtään protonia tai neutronia.

a)



b)



Ratkaisu

a) Hiiliatomin ydintä kuvaavaan malliin on piirretty kuusi punaista palloa ja kuusi valkoista palloa.
Ytimessä on kuusi protonia, joten järjestysluku $Z = 6$.
Neutroneja on myös kuusi kappaletta, joten neutroniluku $N = 6$.
Ytimen massaluku on $A = Z + N = 6 + 6 = 12$.
Hiiliatomin ydintä merkitään $^{12}_{6}\mathrm{C}$.

b) Protoneita on kuusi kappaletta, joten järjestysluku $Z = 6$.
Neutroneita on nyt 8 kappaletta, joten neutroniluku $N = 8$.
Ytimen massaluku on $A = Z + N = 6 + 8 = 14$.
Hiiliatomin ydintä merkitään $^{14}_{6}\mathrm{C}$.

Vastaus

Hiiliatomin ydin voidaan esittää merkinnällä

a) $^{12}_{6}\mathrm{C}$

b) $^{14}_{6}\mathrm{C}$.

Esimerkki 2 — Ytimen tunnusluvut

a) Kuinka monta neutronia on uraani-238-atomissa?
b) Miten merkitään alumiiniydintä, jossa on 14 neutronia?

Ratkaisu

a) Taulukkokirjan mukaan uraanin järjestysluku $Z = 92$.
Siten uraani-238 eli $^{238}_{92}\mathrm{U}$ sisältää 92 protonia.
Neutroneja on tällöin $N = A - Z = 238 - 92 = 146$.

b) Taulukkokirjan mukaan alumiinin järjestysluku $Z = 13$, jolloin massaluku on $A = Z + N = 13 + 14 = 27$.
Ydintä merkitään $^{27}_{13}\mathrm{Al}$.

Vastaus

a) Neutroneja on 146.

b) Alumiiniydintä merkitään $^{27}_{13}\mathrm{Al}$.

Esimerkki 3 — Ytimen rakenteen tunnistaminen

Ytimestä tiedetään, että sen massaluku on 28 ja järjestysluku 14.
a) Mikä ytimen rakenne on?
b) Mistä alkuaineesta on kyse?
c) Kirjoita ytimen tunnus.

Ratkaisu

a) Järjestysluku ilmoittaa protonien lukumäärän $Z = 14$.
Neutroneja on tällöin $N = A - Z = 28 - 14 = 14$.

b) Alkuaine, jonka järjestysluku $Z = 14$, on taulukkokirjan mukaan pii.
Sen kemiallinen merkki on Si.

c) Ytimen tunnus on pii-28 eli $^{28}_{14}\mathrm{Si}$.

Vastaus

a) Sekä protoneja että neutroneja on 14.

b) Alkuaine on pii.

c) Ytimen tunnus on $^{28}_{14}\mathrm{Si}$.

Esimerkki 4 — Gravitaatio- ja sähkömagneettinen vuorovaikutus

Miten gravitaatiovuorovaikutus ja sähkömagneettinen vuorovaikutus ilmenevät trampoliinissa hypyn aikana?

Hyppääjään vaikuttaa gravitaatiovuorovaikutus. Sen seurauksena Maa vetää hyppääjää puoleensa. Ponnistuksen jälkeen hyppääjän vauhti hidastuu ylöspäin mentäessä ja kasvaa alaspäin palattaessa.

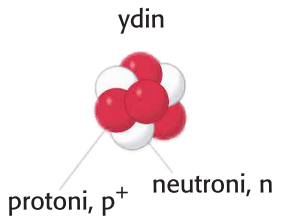
Kun hyppääjä putoaa, trampoliinin kangas venyy, mutta se ei rikkoudu. Kankaan rakenneosien ja kangasta kiinnipitävien jousien rakenneosien välillä on sähkömagneettisen vuorovaikutuksen aiheuttamia voimia, jotka pitävät kankaan ja jouset koossa ja pyrkivät palauttamaan ne alkuperäiseen muotoonsa.

Ponnistustilanteessa jalkojen ja kankaan välinen tukivoima sekä kitkavoima ovat sähkömagneettisen vuorovaikutuksen seurausta.

124. **a)** Nimeä atomin osat.
b) Mistä hiukkasista ydin muodostuu? Esim. 1

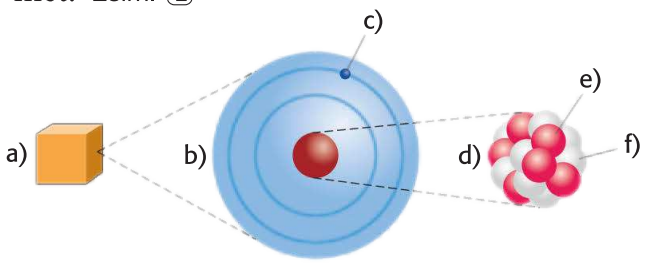
125. Atomissa on kolmenlaisia hiukkasia. Mitkä niistä ovat
a) positiivisesti varattuja
b) negatiivisesti varattuja
c) sähköisesti neutraaleja?

126. Kuvassa on esitetty erään atomin ytimen malli.

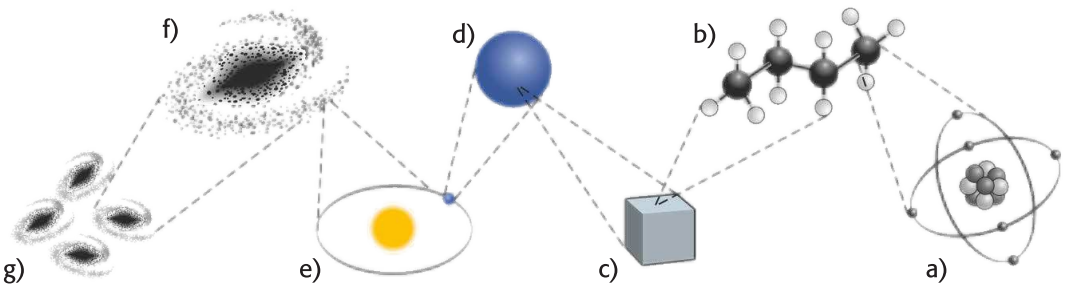


Laske ytimen protonien ja neutronien lukumäärä ja vastaa kysymyksiin. Käytä apuna taulukkokirjaa.
a) Mikä ytimen järjestysluku on?
b) Mikä ytimen massaluku on?
c) Mikä alkuaineen kemiallinen tunnus on?
d) Kirjoita atomin ydin käyttäen merkintää ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

127. Nimeä kuvassa esitettyjen aineen rakenteiden nimet. Esim. 1



128. Nimeä kuvassa esitettyjen aineen rakenteiden nimet.



129. Mitä käsite isotooppi tarkoittaa? Esim. 1

130. **a)** Mitkä ovat vedyn kolme isotooppia Esim. 1
b) Miten ne eroavat toisistaan?
c) Mitä yhteistä niillä on?

131. Kuinka monta protonia ja neutronia radon ${}^{218}_{86}\mathrm{Rn}$ -ytimessä on? Esim. 2 ja 3

132. Millä nimellä kutsutaan protonien ja neutronien rakenneosia?

133. Mitkä ovat perusvuorovaikutusten nimet? Esim. 4

134. Valitse listalta oikea vastausvaihtoehto.
1. gravitaatiovuorovaikutus
2. sähkömagneettinen vuorovaikutus
3. vahva vuorovaikutus

Mikä on vallitseva perusvuorovaikutus, kun
a) kaksi atomia muodostaa molekyylin
b) Kuu kiertää Maata
c) elektronit ovat elektroniverhossa atomin ytimen ympärillä
d) planeetat ja Aurinko muodostavat aurinkokunnan
e) protonit ja neutronit muodostavat atomin ytimen
f) golfmaila osuu golfpalloon?

135. Mitä tarkoittaa etävuorovaikutus?

136. Mikä on vallitseva perusvuorovaikutus, kun
a) ilmapallolla hangatut hiukset pörröttävät pystyssä
b) Maa kiertää Aurinkoa
c) koripallo pomppaa lattialta heiton jälkeen?
Esim. ④

137. Miten gravitaatiovuorovaikutus ja sähkömagneettinen vuorovaikutus ilmenevät seiväshyppääjän hypyn aikana? Esim. ④

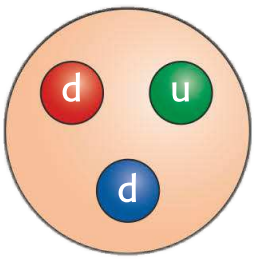
138. **a)** Miksi atomi pysyy koossa? Esim. ④
b) Miksi atomin ydin pysyy koossa?

139. Mikä merkitys on seuraavilla vuorovaikutuksilla?
a) vahva vuorovaikutus
b) heikko vuorovaikutus

140. Miten selität tytön hiusten nousemisen pystyyn?

141. **a)** Miten eri alkuaineiden atomit eroavat toisistaan?
b) Miten saman alkuaineen erimassaiset atomit eroavat toisistaan?

142. Kuvassa on neutronin kvarkkirakenne.



a) Mistä kvarkeista neutroni muodostuu?
b) Mitkä näiden kvarkkien sähkövaraukset ovat?
c) Mitä huomaat kokonaissähkövarauksesta?
d) Mistä hiukkasista näkyvä aine muodostuu?

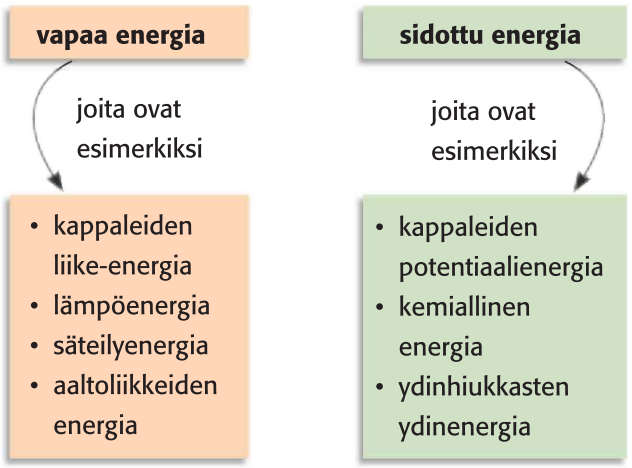
143. **a)** Lehtikultaa käytetään patsaiden, taulujen kehysten, kahvikuppien yms. koristeluun. Lehtikulta on kultalevy, joka on taottu hyvin ohueksi. Sen paksuus on noin 0,000 1 mm. Arvioi, kuinka monta atomikerrosta lehtikultalevyyn mahtuu päällekkäin. Atomin halkaisija on suuruusluokkaa 10^{-10} m.
b) Kasvuiässä ihminen kasvaa keskimäärin yhden senttimetrin vuodessa. Kuinka monta atomikerrosta pituuden lisäykseen mahtuu?

11 Energia säilyy luonnonilmiöissä

Energia ei ole ainetta. Energia voi aiheuttaa muutoksia ympäristössä. Energian yksikkö on joule J.

$$1\ \mathrm{J} = 1\ \frac{\mathrm{kgm}^2}{\mathrm{s}^2}$$

Kappaleen potentiaalienergia $E_p = mgh$, jossa
m on kappaleen massa
g on putoamiskiihtyvyys
h on etäisyys vertailutasosta.



Energiamuodot voidaan luokitella vapaaseen ja sidottuun energiaan. Sidottu energia liittyy aina johonkin perusvuorovaikutukseen, kuten gravitaatiovuorovaikutukseen tai sähkömagneettiseen vuorovaikutukseen.

Energialla on eri muotoja

Energiaa on monina eri **energiamuotoina**, kuten valona, lämpöenergiana, kappaleiden liike- ja potentiaalienergiana sekä ydinenergiana. Energiamuodot voidaan luokitella **sidottuun energiaan** ja **vapaaseen energiaan**. Sidottu energia liittyy aina johonkin perusvuorovaikutukseen. Jos energiamuoto ei riipu perusvuorovaikutuksista, se on vapaata energiaa. Esimerkiksi kemiallinen energia on sidottua energiaa ja liike-energia vapaata energiaa.

Sidottua energia voidaan vapauttaa

Kivellä, joka on kuilun reunalla, on energiaa kuilun pohjaan nähden. Jos kiveä tönäistään riittävän voimakkaasti, se voi vieriä kuilun pohjalle. Tällaista kappaleen paikasta riippuvaa energiaa kutsutaan **potentiaalienergiaksi**. Potentiaalienergia on sidottua energiaa, sillä se liittyy gravitaatiovuorovaikutukseen. Mikäli kiven ja Maan välillä ei olisi gravitaatiovuorovaikutusta, kivellä ei olisi potentiaalienergiaa.

Potentiaalienergiaa verrataan sovittuun **vertailutasoon**. Siten kuilun reunalla olevan kiven potentiaalienergia on sitä suurempi, mitä syvempi kuilu on. Vertailutaso voidaan valita vapaasti. Toinen potentiaalienergian suuruuteen vaikuttava tekijä on kappaleen paino G. Mitä suurempi kappaleen paino on, sitä suurempi on myös potentiaalienergia. Paino taas riippuu kappaleen massasta ja putoamiskiihtyvyydestä, $G = mg$.

Kemiallinen energia on aineen kemiallisiin sidoksiin liittyvää energiaa. Kemiallista energiaa voi vapautua kemiallisissa reaktioissa. Esimerkiksi puun palaessa vapautuu energiaa. Kemialliset sidokset ovat atomien välisiä sähköisiä vetovoimia, joten kemiallinen energia on sidottua energiaa.

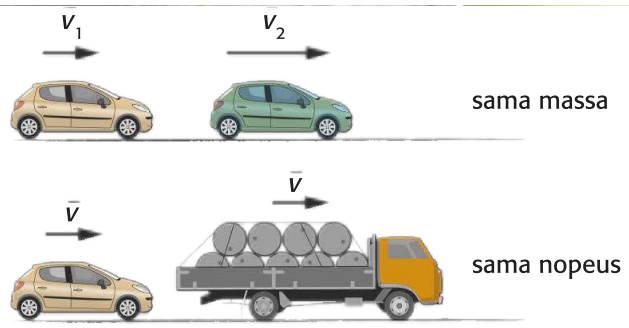
Atomin ytimessä on toisiaan hylkiviä protoneja. Atomin ydintä pitää koossa vahva vuorovaikutus, joka on ytimen sisällä voimakkaampi kuin sähkömagneettinen vuorovaikutus. Atomien ytimiin varastoitunutta energiaa vapautetaan esimerkiksi ydinvoimaloissa. Atomin ydinhiukkasten vahvaan vuorovaikutukseen liittyvä **ydinenergia** on sidottua energiaa.

Sidotussa muodossa oleva energia pitää vapauttaa, ennen kuin sitä voidaan hyödyntää.

Kivellä on potentiaalienergiaa.

Puun kemiallinen energia vapautuu palamisessa.

Ydinenergia vapautuu ydinreaktioissa.



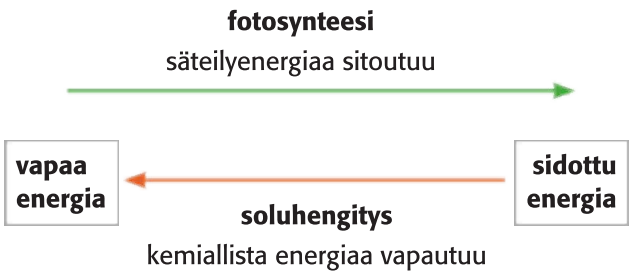
Kappaleen liike-energia on

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2,$$

jossa
m on kappaleen massa
v on kappaleen nopeus.

Vapaata energiaa voidaan hyödyntää välittömästi.

Energian säilymislaki
Energia ei häviä eikä synny, mutta se muuntuu muodosta toiseen.



Vapaa energia liittyy liikkeeseen

Kappaleen energia voi liittyä myös liikkeeseen. Tätä energiaa kutsutaan kappaleen **liike-energiaksi**. Liike-energia on vapaata energiaa, sillä se ei riipu mistään perusvuorovaikutuksesta. Kappaleen liike-energia on sitä suurempi, mitä suurempia kappaleen massa ja nopeus ovat. Samanlaisista, eri nopeuksilla liikkuvista autoista nopeammin kulkevalla on suurempi liike-energia. Vastaavasti samaa nopeutta ajavista erimassaisista autoista raskaammalla on suurempi liike-energia. Paikallaan olevalla autolla ei ole liike-energiaa.

Lämpöenergia on vapaata energiaa. Se liittyy aineen rakenneosien liikkeeseen. Kun vettä kuumennetaan liedellä kattilassa, veteen siirtyy lämmittämisen seurauksena energiaa. Veden lämpöenergia kasvaa ja sen lämpötila nousee. Lämpöenergia ja lämpötila ovat eri suureita.

Myös **säteilyenergia** on vapaata energiaa. Se, kuten muutkin vapaat energiamuodot, on välittömästi hyödynnettävissä. Säteilyenergian avulla voidaan esimerkiksi lämmittää vettä. Vastaavasti veden liike-energian avulla voidaan pyörittää sähkögeneraattoria.

Energia säilyy ja muuntuu muodosta toiseen

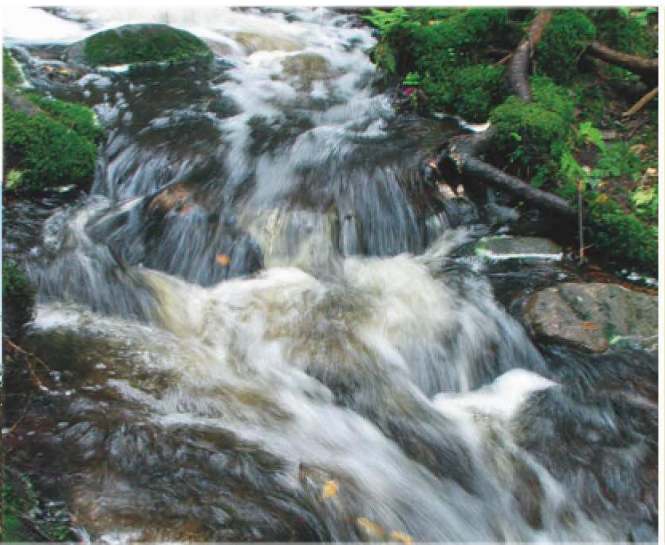
Energia voi **muuntua** muodosta toiseen kaikissa luonnonilmiöissä, mutta sen kokonaismäärä pysyy muuttumattomana eli säilyy. Energian säilymislaki on kaikkia luonnonilmiöitä koskeva luonnonlaki, josta ei ole havaittu ainuttakaan poikkeamaa.

Auringon säteilyenergia pitää elämää yllä maapallolla. Auringon säteilyenergiaa muuntuu kasvien viherhiukkasissa kemialliseksi energiaksi. Tätä prosessia kutsutaan fotosynteesiksi. Energia sitoutuu fotosynteesissä.

Elämä maapallolla olisi mahdotonta ilman kasvien kykyä muuntaa Auringon säteilyenergiaa kemialliseksi energiaksi. Kasvit ja niitä syövät eläimet saavat kasvamiseen ja lisääntymiseen tarvitsemansa energian kasvien varastoimasta kemiallisesta energiasta. Kemiallinen energia vapautuu soluhengityksessä.

Vapaa energia on välittömästi hyödynnettävissä.

Virtaavan veden liike-energia on vapaata energiaa. Virtaava vesi voi pyörittää turbiinia.



Valoenergia on vapaata energiaa. Se saa aikaan fotosynteesin.

Keilapallolla on liike-energiaa. Keilapallo voi kaataa keilat.

Energiakaavio

1. **Valitaan tarkasteltava kohde ja rajataan se.**
2. **Valitaan tapahtuman alkutilanne.**
3. **Mietitään, mikä on energiaa välittävä prosessi.**
4. **Valitaan tarkasteltavan tapahtuman lopputilanne.**
5. **Selvitetään, mitä energialajeja alkutilanteessa esiintyy ja missä suhteessa.**
6. **Päätellään, mitä energialajeja lopputilanteessa esiintyy ja missä suhteessa.**
7. **Piirretään energiakaavio.**

Kemiallisen energian lohkon koko kertoo, että vain pieni osa kasviin osuvasta Auringon säteilyenergiasta muuntuu kasvin kemialliseksi energiaksi. Kokonaisenergia on kuitenkin sama alku- ja lopputilanteessa eli energia säilyy.

Energiakaavio kuvaa energian muuntumista ja säilymistä

Energian säilymistä ja muuntumista muodosta toiseen voidaan havainnollistaa **energiakaavion** avulla. Kaavion tekemiseen vaikuttavat oleellisesti tarkasteltavan systeemin alku- ja lopputilanteen valinta sekä se, mitkä kaikki energiamuodot tarkastelussa otetaan huomioon.

Tutustutaan energiakaavion laatimiseen tarkastelemalla fotosynteesiä. Energiakaavion laatimisessa on seitsemän vaihetta.

Valitaan tarkasteltavaksi kohteeksi lehti ja lehdelle tuleva ja siltä lähtevä säteily.

Valitaan alkutilanteeksi tilanne, jossa energia on Auringosta kasvin lehdelle tulevaa energiaa.

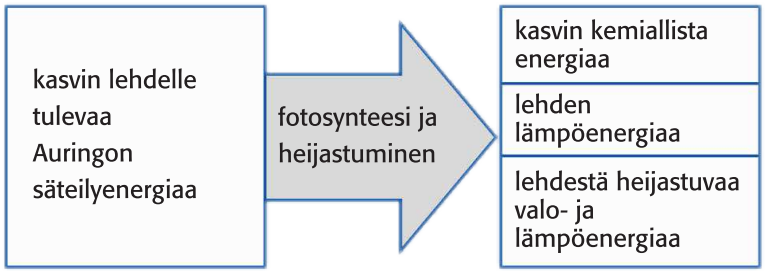
Energiaa välittävä prosessi on säteilyenergian ja kasvin vihreiden osien fotosynteesi ja valon heijastuminen.

Valitaan lopputilanteeksi tilanne, jossa energia on osaksi kasvin energiaa ja osaksi lehdestä takaisin heijastunutta energiaa.

Alkutilanteessa energia on lehdelle osuvaa Auringon säteilyenergiaa.

Lopputilanteessa energia on kasvin kemiallista energiaa sekä kasvin lehden lämpöenergiaa sekä siitä heijastuvaa valo- ja lämpöenergiaa.

Energiakaaviossa on kaksi lohkoa. Ne esittävät energian eri muotojen määriä tapahtuman alku- ja lopputilanteessa. Energiakaavion lohkojen sama korkeus kertoo, että energia säilyy prosessissa. Lohkojen välissä oleva nuoli kuvaa energiaa välittävää prosessia.



Tiivistelmä

- Energia on sidottua tai vapaata. Sidottu energia liittyy perusvuorovaikutuksiin. Vapaa energia on välittömästi hyödynnettävissä.
- Potentiaalienergia, kemiallinen energia ja ydinenergia ovat esimerkkejä sidotusta energiasta.
- Liike-energia ja lämpöenergia ovat esimerkkejä vapaasta energiasta.
- Energian määrä ei lisäänny eikä vähene vaan säilyy samana, mutta se voi muuntua muodosta toiseen.
- Energiakaavio havainnollistaa energian säilymistä ja muuntumista.

Esimerkki 1 — Aurinkopaneelin energiakaavio

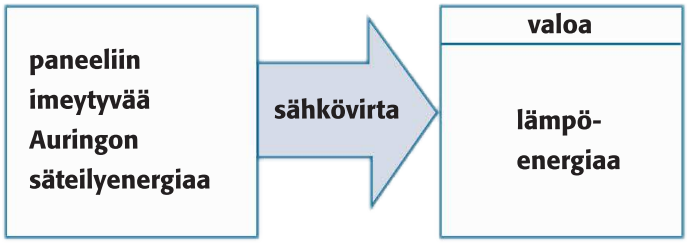
Laadi aurinkopaneelin tuottaman sähkön avulla toimivan hehkulampun energiakaavio.

Tarkasteltava kokonaisuus:

Ratkaisu

Hehkulampun energian lähteenä voidaan käyttää Aurinkoa, jonka säteilyenergiaa siirretään sähkövirran avulla hehkulamppuun.

1. Tarkasteltava kohde on aurinkopaneelin ja lampun muodostama systeemi.
2. Alkutilanteessa energia on Auringosta paneelille tulevaa energiaa.
3. Energiaa välittävä prosessi on sähkövirta.
4. Lopputilanteessa energia on lampun ja ympäristön energiaa.
5. Alkutilanteessa energia on Auringon säteilyenergiaa.
6. Hehkulamppu tuottaa runsaasti lämpöenergiaa, ja vain vajaa 10 % sähkövirran välittämästä energiasta muuntuu valoksi.
7. Näiden tietojen perusteella voidaan piirtää energiakaavio.

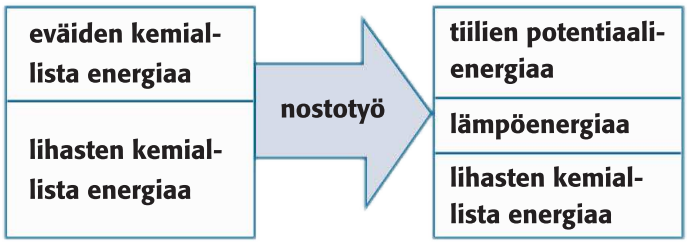


Esimerkki 2 — Työmiehen energiakaavio

Tarkastellaan kokonaisuutta, jonka muodostavat rakennustyömies ja hänen eväänsä, tiilikasa ja työmaa. Mies syö eväänsä ja kantaa tiilet toiseen kerrokseen.
Laadi tapahtumaa kuvaava energiakaavio, kun alkutilanteessa eväitä ei ole vielä syöty ja lopputilanteessa työ on jo tehty.

Ratkaisu

1. Tarkasteltavana kohteena on rakennustyömies, hänen eväänsä, tiilikasa ja työmaa.
2. Alkutilanteessa eväät ovat syömättä ja tiilet ensimmäisessä kerroksessa.
3. Energiaa välittävänä prosessina on nostotyö.
4. Lopputilanteessa eväät on syöty ja tiilet nostettu toiseen kerrokseen.
5. Alussa energia on eväiden ja miehen lihasten kemiallista energiaa.
6. Kun työtä tehdään, eväiden ja lihasten kemiallinen energia pienenee ja tiilien potentiaalienergia kasvaa. Työsuorituksessa syntyy myös lämpöenergiaa, joka havaitaan ympäristön lämpötilan nousuna.
7. Näiden tietojen perusteella voidaan piirtää energiakaavio.



Esimerkki 3 — Energian säilyminen putoamisessa

Jääpuikko, jonka massa on 750 grammaa, on kiinni räystäässä. Puikon etäisyys maasta on 11 metriä.

a) Kuinka suuri puikon potentiaalienergia on maahan verrattuna?

b) Jääpuikko putoaa räystäältä. Kuinka suuri puikon liike-energia on, kun se osuu maahan?

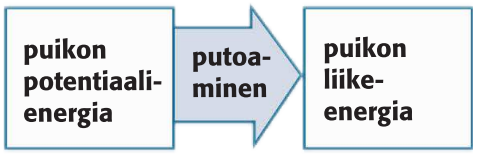
c) Millä nopeudella puikko osuu maahan?

Ratkaisu

a) Puikon massa $m = 0{,}75\ \text{kg}$ ja etäisyys maasta $h = 11\ \text{m}$.
Puikon potentiaalienergia maahan verrattuna on

$$E_p = mgh$$
$$= 0{,}75\ \text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 11\text{m}$$
$$= 80{,}9325\ \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2} \approx 81\ \text{J}.$$

b) Oletetaan, että energiaa ei muunnu putoamisen aikana lämpöenergiaksi.
Tällöin puikon potentiaalienergia muuntuu kokonaisuudessaan puikon liike-energiaksi, koska energia säilyy.
Puikon liike-energia on siten 81 J.



c) Puikon liike-energia

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2.$$

Ratkaistaan nopeus

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad | \cdot 2$$ — Kerrotaan yhtälö kahdella.

$$2E_k = mv^2 \quad | :m$$ — Jaetaan yhtälö massalla m.

$$v^2 = \frac{2E_k}{m} \quad | \sqrt{\ }$$ — Otetaan yhtälöstä neliöjuuri puolittain.

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}.$$

Sijoitetaan tunnetut arvot

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot\ 80{,}9325\ \text{J}}{0{,}75\ \text{kg}}}$$
$$= 14{,}6908\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 15\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Yksikönmuunnos

$$\sqrt{\frac{\text{J}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}}$$
$$= \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

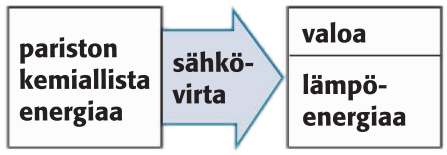
Vastaus

a) Puikon potentiaalienergia on 81 J.
b) Puikon liike-energia on 81 J.
c) Puikon nopeus on $15\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

11 Tehtävät — Perustehtävät

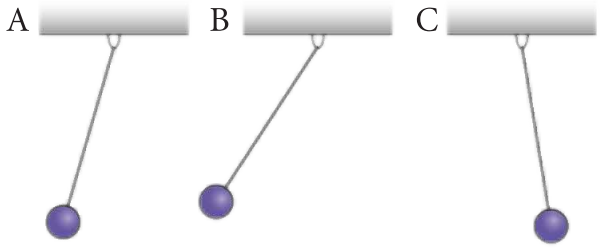
144. Luokittele seuraavat energiamuodot vapaisiin ja sidottuihin: lämpöenergia, säteily, ydinten sidosenergia, liike-energia.

145. Tulkitse kuvan energiakaavion sisältö. Esim. ① ja ②



146. Piirrä energiakaavio, joka kuvaa polkupyöräilijän nousemista mäen harjalle. Esim. ① ja ②

147. Heiluri päästetään heilahtamaan eri korkeuksilta. Missä tapauksessa heilurin nopeus sen alimmassa asennossa on suurin? Esim. ③



148. Savupiipun korkeus on 11 metriä. Piipun päässä on irrallaan tiilikivi. Kuinka suuri tiilikiven potentiaalienergia on, kun vertailutasona on maanpinta? Tiilikiven massa on 3,8 kg. Esim. ③

149. Onko väite tosi vai epätosi?

a) Heiluri voi heilahtaa lähtötasoaan korkeammalle.

b) Raskaan kappaleen putoamisessa vapautuu aina enemmän potentiaalienergiaa kuin kevyen kappaleen putoamisessa, jos matka on sama.

150. Mistä energia saadaan seuraaviin prosesseihin? Mihin muotoon energia muuntuu?

a) Auton kiihdyttäminen tasaisella tiellä.

b) Portaiden nouseminen.

151. Lumipallon massa on 150 g. Kuinka suuri sen liike-energia on, jos sen nopeus on 11,2 m/s? Esim. ③

11 Tehtävät — Soveltavat tehtävät

152. Piirrä energiakaavio, joka kuvaa veden virtaamista koskessa. Esim. ① ja ②

153. Miten energian sitoutuminen ja vapautuminen liittyvät veden kiertokulkuun luonnossa?

154. Heilurin massa on 5,0 kg ja heilahduskorkeus 75 cm.

a) Kuinka paljon heilurin potentiaalienergia muuttuu, kun heiluri heilahtaa yläasennostaan tasapainoasemaan?

b) Mihin muotoon heilurin potentiaalienergia tällöin muuntuu?

c) Millä korkeudella heilurin potentiaalienergia on pienentynyt neljänteen osaan alkuperäisestä arvostaan? Esim. ③

155. Samanmassaiset höyhen ja hiekanjyvä putoavat samalta korkeudelta lattialle. Täydennä lause ja korjaa väite oikeaksi, mikäli se on väärin. Esim. ③

a) Hiekanjyvällä ja höyhenellä on aluksi sama potentiaalienergia lattian suhteen, sillä...

b) Hiekanjyvällä ja höyhenellä on sama liike-energia niiden osuessa lattiaan, sillä…

156. Vertaa kappaleen uutta potentiaalienergiaa alkuperäiseen potentiaalienergiaan, kun

a) nostokorkeus muuttuu kaksinkertaiseksi,

b) massa muuttuu kaksinkertaiseksi,

c) massa muuttuu kaksinkertaiseksi ja nostokorkeus puolittuu. Esim. ③

157. Pyöräilijän nopeus

a) kaksinkertaistuu

b) nelinkertaistuu

c) pienenee puoleen.

Miten hänen liike-energiansa muuttuu? Esim. ③

158. Jääpuikko putoaa kerrostalon räystäältä ja osuu 1,6 sekunnin kuluttua katuun. Kuinka suuri puikon liike-energia on, kun puikko osuu katuun? Puikon massa on 1,2 kg. Esim. ③

159. Tutki kotona

Tutki heilurin heilahdusliikkeen vaimenemista. Mitkä seikat vaikuttavat siihen, kauanko heiluri heiluu? Mihin muotoon energia siirtyy heilahdusten vaimentuessa?

12 Energialähteet eivät säily

Energialähde on ainetta tai säteilyä, jota voidaan hyödyntää energian tuotannossa.

Energia säilyy, mutta energialähteet eivät säily.

Aurinko on Maan tärkein energialähde

Kotitaloudet ja teollisuus tarvitsevat yhä enemmän sähköenergiaa. Sähköenergian tuottamiseen tarvitaan **energialähteitä**, joista energia voidaan muuntaa sähköenergiaksi. Lähes kaikki maapallon energialähteet liittyvät Aurinkoon.

Auringon säteilyenergia saa aikaan veden, hapen ja hiilen kierrot sekä tuulet. Öljy, hiili ja puu taas ovat syntyneet kasvien, levien ja syanobakteerien fotosynteesin tuloksena. Auringon säteilyenergia on myös fotosynteesin ehdoton edellytys.

Ainoastaan ydinenergia ja geoterminen energia eli Maan sisäinen lämpö eivät ole sidoksissa Aurinkoon. Ydinenergiakin on tavallaan tähdistä lähtöisin, sillä maapallolta löytyvä uraani on syntynyt menneisyydessä sinisten jättiläistähtien supernovaräjähdyksissä. Jos tähti räjähtää supernovana, muodostuu räjähdyksessä rautaa raskaampia alkuaineita, kuten uraania.

Energialähteet ovat joko uusiutuvia tai uusiutumattomia

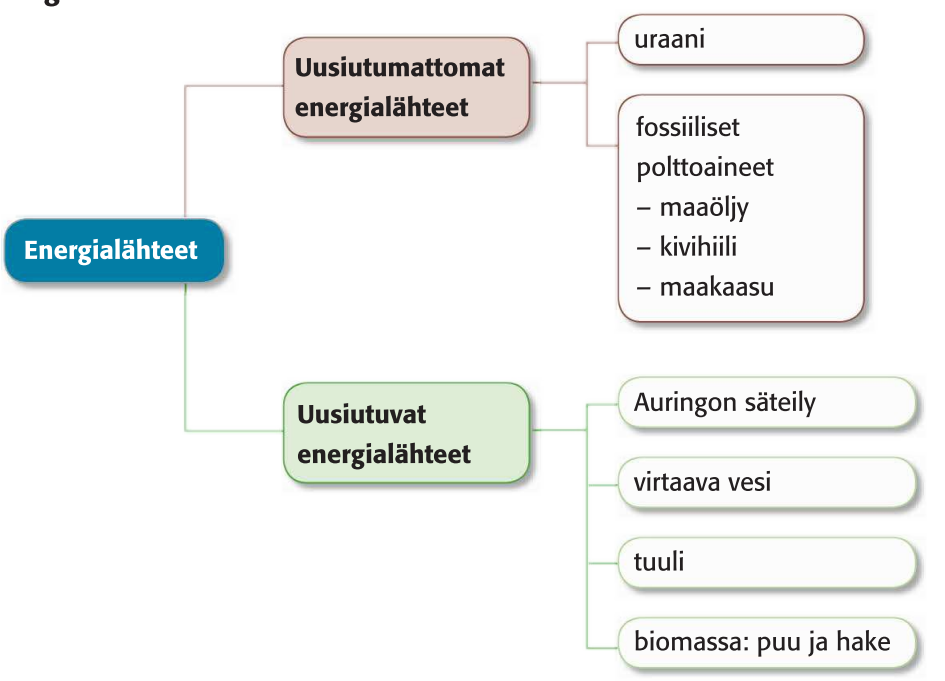
Sähköenergiaa tuotetaan voimalaitoksissa, joiden energialähteenä voi olla joko **uusiutumaton** tai **uusiutuva energialähde**.

Energialähde on uusiutumaton, jos käyttöön otettu energialähde ei korvaudu tai korvautuu erittäin hitaasti. Esimerkiksi kivihiili on uusiutumaton energialähde.

Uusiutuvat energialähteet uusiutuvat Auringon säteilyn vaikutuksesta koko ajan. Tuuli on esimerkiksi uusiutuva energialähde, sillä Auringon säteilyenergia saa aikaan maapallolla ilmanpaine-eroja. Tuulet syntyvät, kun paine-erot tasoittuvat.

Tuuli on uusitutuva energialähde.

Energialähteiden luokittelu



Fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia

Uusiutumattomia energialähteitä ovat fossiiliset polttoaineet, kuten maakaasu, kivihiili ja öljy. Nämä ovat syntyneet miljoonien vuosien kuluessa eloperäisestä aineesta, kuten kasvien ja eläinten jäännöksistä, jotka ovat hautautuneet maakerrosten alle. Maakerroksen paino on puristanut eloperäisen aineen hapettomassa tilassa kovaan paineeseen ja lämpötilaan. Näin on syntynyt öljyä ja maakaasua. Niitä pumpataan maanpinnalle paksujen maakerrosten alla olevista taskuista.

Uraani ja fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia energialähteitä

Myös uraani on uusiutumaton energialähde, sillä ydinvoimaloissa käytettävää uraania ei synny lisää maapallolla.

Auringon säteilyenergia saa aikaan uusiutuvia energialähteitä

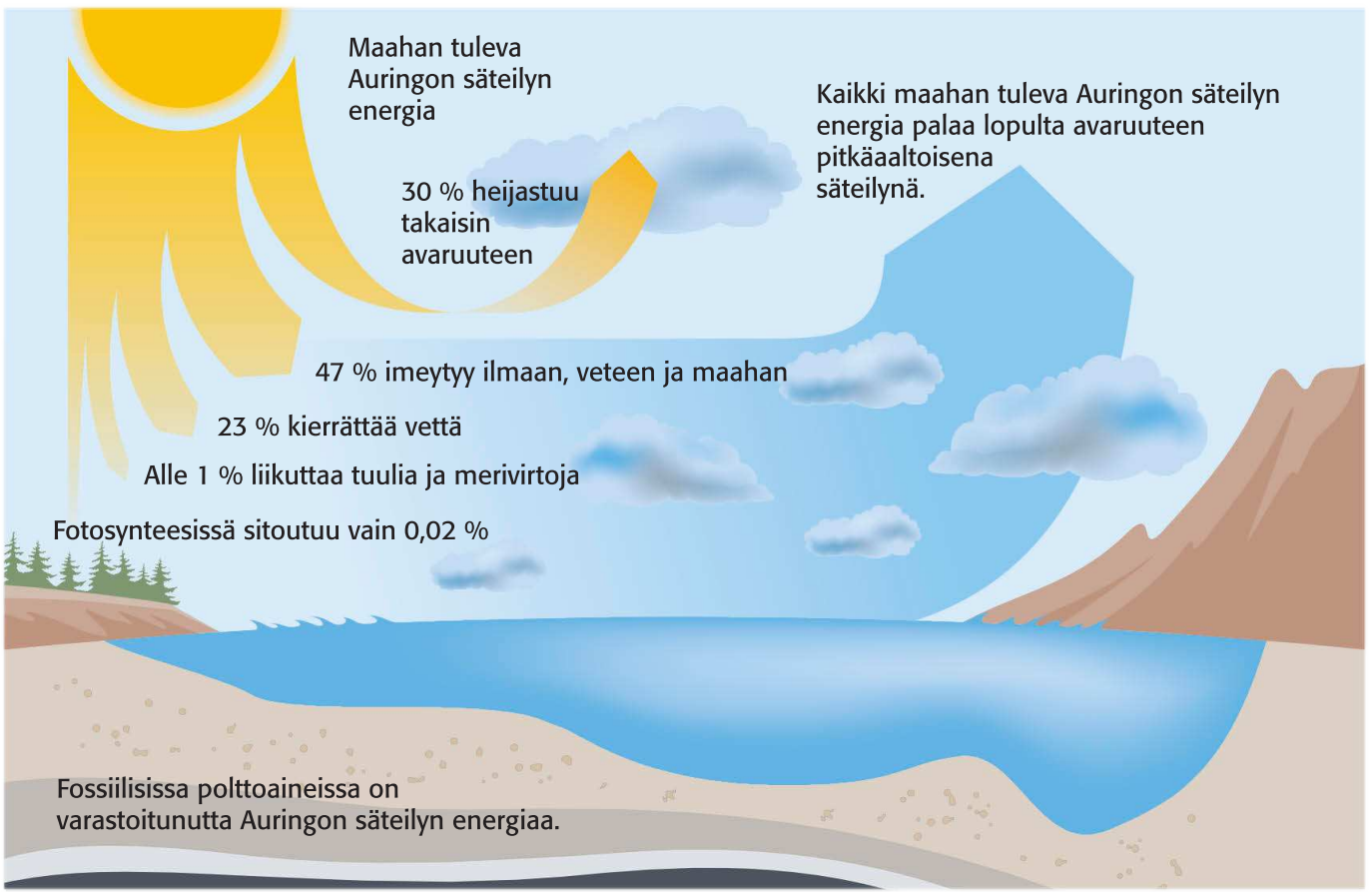
Uusiutuvia energialähteitä ovat esimerkiksi virtaava vesi, tuuli sekä puu ja muut **biopolttoaineet**.

Auringon säteily ja sen aikaansaamat energialähteet ovat uusiutuvia energialähteitä.

Auringon säteily saa aikaan veden kiertokulun. Vettä haihtuu meristä ja muista vesistöistä, kun Auringon säteily lämmittää vettä. Vesihöyry tiivistyy jäähtyessään vedeksi ja sataa esimerkiksi vuoristoalueilla. Vesi virtaa alas vuoristosta ja veden potentiaalienergia muuntuu liike-energiaksi. Vesivoimalaitoksissa hyödynnetään virtaavan veden liike-energiaa. Aurinko saa aikaan myös ilmamassojen liikkeet eli tuulen.

Fotosynteesissä sitoutuu Auringon säteilyn energiaa kasvien kemialliseksi energiaksi. Biopolttoaineita poltettaessa niihin sitoutunut kemiallinen energia muuntuu lämpöenergiaksi. Biomassa on uusiutuva energialähde, sillä sitä syntyy koko ajan lisää.

Auringon säteilyn energia saa aikaan aineiden kierron.

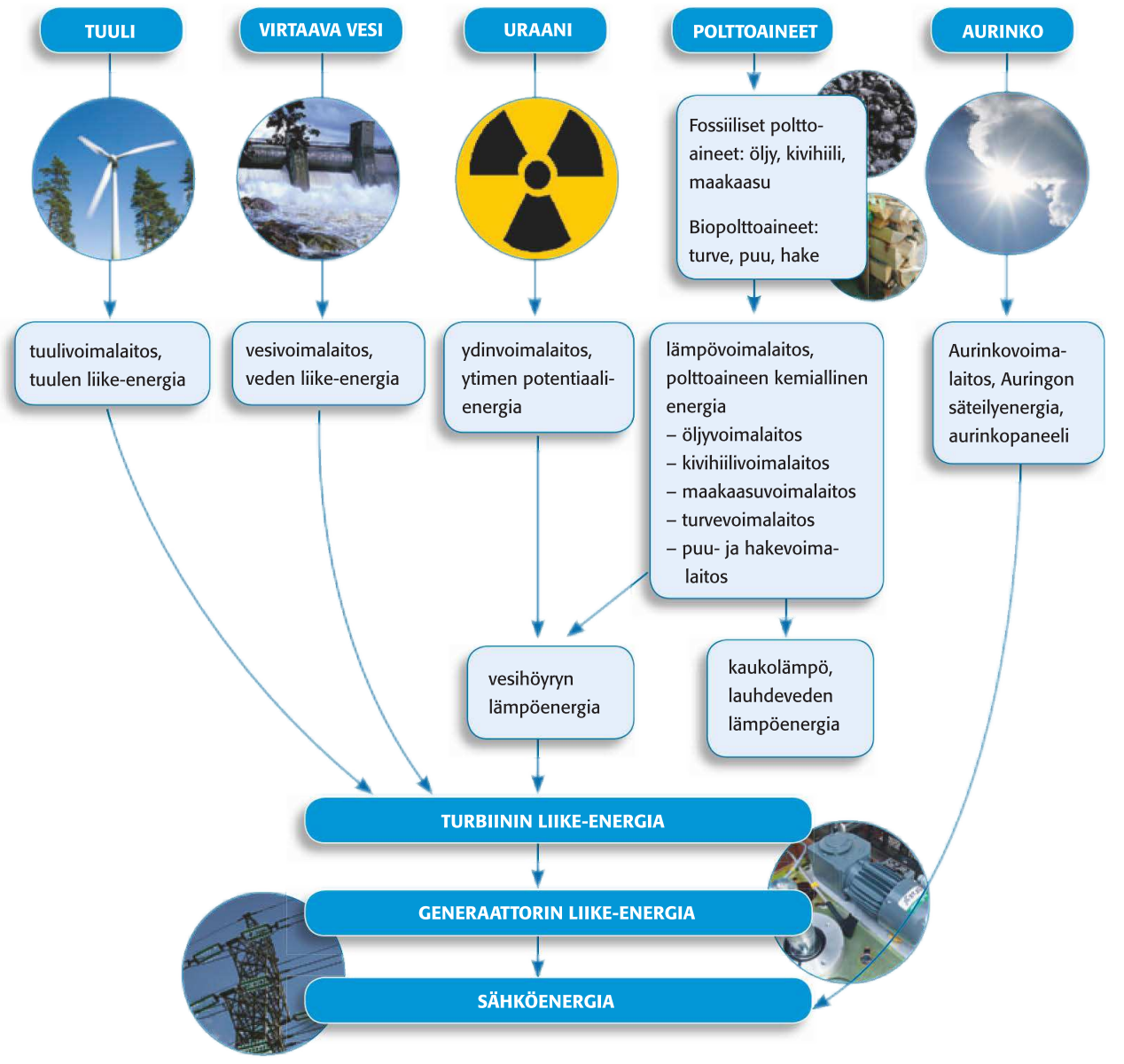


Sähköenergian tuottamisessa käytetään energialähteitä

Uusiutuvista ja uusiutumattomista energialähteistä saatava energia muunnetaan voimalaitoksen generaattorilla sähköenergiaksi. Sähköenergiaa on helppo siirtää sähköverkossa pitkiäkin matkoja. Voimalaitosten ei näin ollen tarvitse olla asutuskeskusten ja teollisuuden välittömässä läheisyydessä.

Noin puolet Suomen sähköenergiasta tuotetaan uusiutumattomilla energialähteillä, ydinvoimalla, kivihiilellä, maakaasulla ja turpeella. Turve uudistuu erittäin hitaasti, joten sitäkin voidaan pitää uusiutumattomana energialähteenä. Tällaisten energialähteiden määrä pienenee käytön myötä. Onkin tärkeää, että uusiutuvien energialähteiden käyttöä lisätään. Tulevaisuudessa lämmön ja sähkön tuotannossa käytetään enemmän tuulienergiaa ja Auringon säteilyn energiaa. Energian säästäminen on kuitenkin tehokkain tapa, jolla energialähteiden riittävyyttä voidaan jatkaa tulevaisuuteen.

Sähköenergian tuottaminen



Eri voimalaitoksissa generaattorin käämit saadaan pyörimään eri energialähteiden antaman energian avulla. Generaattori tuottaa sähköenergiaa.

Polttoaineiden lämpöarvoja

Aine	Lämpörvo (MJ/kg)
bensiini	43,5
etanoli	26,9
kivihiili	28
maakaasu	46
metaani	49,8
kuiva puu	18 … 19
turve	11
vety	119

Ihminen saa tarvitsemansa energian kasvien ja eläinten kemiallisesta energiasta.

Polttoaineen lämpöarvo

Lämpöarvo (H) ilmaisee, kuinka paljon energiaa vapautuu täydellisessä palamisessa polttoaineen massayksikköä kohden. Kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden lämpöarvon yksikkö on MJ/kg. Bensiinin lämpöarvo on 43,5 MJ/kg, joten kun yksi kilogramma bensiiniä palaa täydellisesti, vapautuu energiaa 43,5 MJ. Kuivan puun lämpöarvo on puolet bensiinin lämpöarvosta, joten puuta tarvitaan kaksinkertainen määrä bensiiniin verrattuna, jotta sama energiamäärä vapautuisi.

Ihminen ja energia

Ihmisen jokainen solu tarvitsee energiaa toimiakseen. Ihmisen elimistö ei pysty kuitenkaan hyödyntämään suoraan Auringosta tulevaa energiaa, vaan joutuu käyttämään ruokaan sitoutunutta kemiallista energiaa.

Kasvit pystyvät muuntamaan Auringon säteilyn energiaa viherhiukkasissaan kemialliseksi energiaksi. Tässä fotosynteesiprosessissa kasvi valmistaa vedestä ja hiilidioksidista glukoosia eli rypälesokeria, jonka kemiallisiin sidoksiin alun perin Auringosta lähtöisin oleva energia on varastoitunut. Kasvi käyttää glukoosia omana energianlähteenään, ja ylimääräinen glukoosi muuttuu yleensä tärkkelykseksi. Kasvit muodostavat glukoosista myös muita orgaanisia aineita, kuten rasvoja.

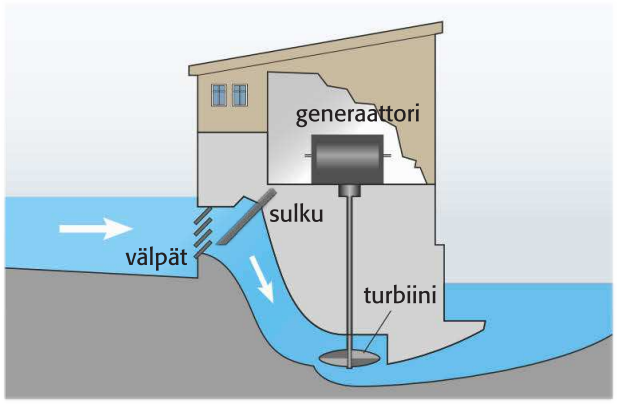
Kasvien valmistamat ravintoaineet ovat eläinten ravintoa, joten fotosynteesissä kasveihin sitoutunut Auringon säteilyenergia siirtyy eläinten käyttöön. Ihmisen ruuansulatuselimistössä kasveista tai eläimistä peräisin olevat ravintoaineet pilkkoutuvat pienemmiksi molekyyleiksi ennen kuin solut voivat käyttää ravintoon sitoutunutta kemiallista energiaa hyödykseen. Energia vapautuu soluhengityksessä, jossa glukoosiin varastoitunut energia vapautuu soluille käyttökelpoiseen muotoon. Samalla syntyy hiilidioksidia ja vettä. Ihminen, kuten muutkin eliöt, tarvitsevat energiaa muun muassa kasvuun, liikkumiseen ja uusien solunosien rakentamiseen.

Tiivistelmä

- Aurinko on Maan tärkein energialähde. Auringon säteilyenergia saa aikaan aineiden kierrot ja mahdollistaa fotosynteesin.
- Energialähteet ovat joko uusiutuvia tai uusiutumattomia. Energialähde on uusiutumaton, jos käyttöön otettu energialähde ei korvaudu tai korvautuu erittäin hitaasti.
- Uusiutumattomien energialähteiden käyttöä pitää vähentää, sillä niiden määrä on rajallinen.

Esimerkki 1 — Energian muuntuminen vesivoimalaitoksessa

Miten energia muuntuu vesivoimalaitoksessa?



Ratkaisu

Padon yläpuolella vedellä on potentiaalienergiaa. Kun vesi virtaa turbiinikanavaan, potentiaalienergia muuntuu liike-energiaksi. Virtaava vesi pyörittää turbiinin siipiä, jolloin osa veden liike-energiasta muuntuu turbiinin liike-energiaksi. Generaattori muuntaa turbiinin liike-energiaa sähköenergiaksi.

Esimerkki 2 — Energian vapautuminen palamisessa

a) Takan lämmittämiseen käytetään 8,5 kilogrammaa kuivaa puuta. Kuinka paljon lämpöenergiaa vapautuu, kun puu palaa täydellisesti?

b) Kuinka paljon maakaasua tarvittaisiin vastaavan lämpöenergiamäärän vapauttamiseen?

Ratkaisu

a) Puun massa $m = 8{,}5$ kg. Vapautuva lämpöenergian määrä saadaan selville, kun kerrotaan puun lämpöarvo puun massalla. Sivulla 87 olevasta taulukosta nähdään, että puun lämpöarvo $H = 19$ MJ/kg.

Vapautuva lämpöenergiamäärä on siten

$$E = Hm$$

$$= 19\,\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 8{,}5\ \text{kg} = 161{,}5\ \text{MJ} \approx 160\ \text{MJ}.$$

b) Maakaasun lämpöarvo $H = 46$ MJ/kg. Tarvittavan maakaasun massa saadaan selville, kun jaetaan lämpöenergiamäärä maakaasun lämpöarvolla.

$$m = \frac{E}{H} = \frac{161{,}5\ \text{MJ}}{46\,\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 3{,}5109\ \text{kg} \approx 3{,}5\ \text{kg}$$

Vastaus

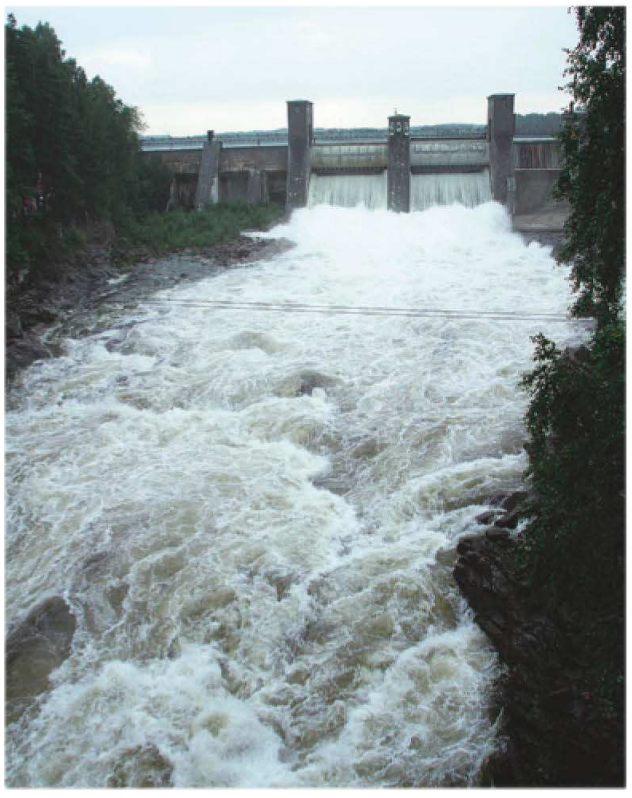
a) Energiaa vapautuu 160 MJ.

b) Maakaasua tarvitaan 3,5 kg.

Esimerkki 3 — Veden potentiaalienergian vapautuminen koskessa

a) Imatrankosken pudotuskorkeus on 25 m ja virtaama 600 m^3/s. Kuinka paljon veden potentiaalienergiaa vapautuu koskessa minuutin aikana?

b) Kuinka monen omakotitalon kokonaissähkönkäyttöä vuodessa a-kohdan energian määrä vastaa? Omakotitalon keskimääräinen vuotuinen kokonaissähkönkäyttö on 6,7 GJ.



Imatrankoski

Ratkaisu

a) Pudotuskorkeus on 25 m ja virtaama 600 m^3/s. Veden tiheys on 1 000 kg/m^3.

Minuutin aikana koskessa virtaavan veden tilavuus

$$V = 60\,\text{s} \cdot 600\frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 36\,000\,\text{m}^3.$$

Veden massa

$$m = \rho V$$

$$= 1\,000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 36\,000\,\text{m}^3$$

$$= 36\,000\,000\,\text{kg}.$$

Potentiaalienergiaa vapautuu minuutissa

$$E_\text{p} = mgh$$

$$= 36\,000\,000\,\text{kg} \cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 25\,\text{m}$$

$$= 8{,}829 \cdot 10^9\frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2} \approx 8{,}8\,\text{GJ}.$$

b) Omakotitalon keskimääräinen vuotuinen sähköenergian käyttö on 6,7 GJ. Imatrankoskessa vapautuu minuutissa 8,8 GJ. Kun tämä energian määrä jaetaan yhden talon vuotuisella sähköenergian käytöllä, saadaan

$$\frac{8{,}829\,\text{GJ}}{6{,}7\,\text{GJ}} = 1{,}3178 \approx 1{,}3.$$

Vastaus

a) Energiaa vapautuu 8,8 GJ.

b) Energian määrä vastaa 1,3 omakotitalon vuotuista kokonaissähkönkäyttöä.

Esimerkki 4 — Voimalaitoksen energiakaavio

Fossiilista polttoainetta käyttävän voimalaitoksen hyötysuhde on 38 %.

a) Kuvaile energian muuntumista voimalaitoksessa.

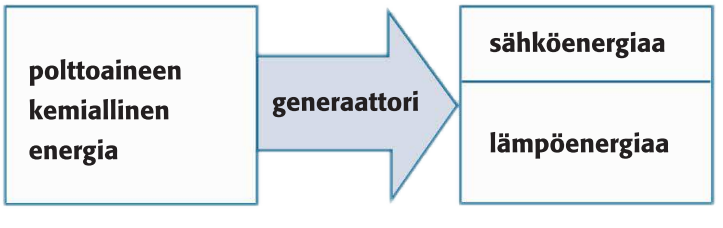
b) Piirrä voimalaitoksen toimintaa kuvaava energiakaavio

c) Miten voimalaitoksen hyötysuhdetta voitaisiin parantaa?

Ratkaisu

a) Fossiilisen polttoaineen kemiallinen energia vapautuu palamisprosessissa. Polttoaineesta vapautuvalla lämpöenergialla höyrystetään polttokattilassa oleva vesi. Kovassa paineessa oleva kuuma vesihöyry purkautuu lauhduttimeen. Virtaava höyry pyörittää turbiinia ja samalla akselilla olevaa generaattoria. Höyryn liikeenergiasta 38 % muuntuu generaattorissa sähköenergiaksi.

b)



c) Hyötysuhde paranee, jos lauhduttimeen virtaavan höyryn lämpöenergia voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi kaukolämpönä.

160. Auringon säteily, fossiiliset polttoaineet, virtaava vesi, tuuli, uraani, biomassa, puu ja hake ovat energialähteitä. Mitkä niistä ovat
a) uusiutuvia energialähteitä
b) uusiutumattomia energialähteitä?

161. Mitä tarkoittaa, jos energialähde on
a) uusiutuva
b) uusiutumaton?

162. Miten Auringon säteilyn energia liittyy
a) metsän kasvuun
b) virtaavaan veteen
c) tuulien syntyyn?

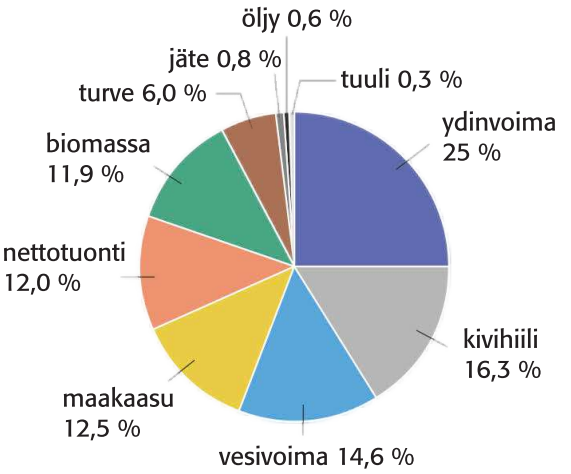
163. Miksi öljyn ja kivihiilen käyttöä pitäisi vähentää?

164. Energia säilyy energiansäilymislain mukaan. Miksi energian säästäminen on kuitenkin välttämätöntä?

165. Onko turve uusiutuva energialähde? Perustele vastauksesi.

166. Mitkä ovat tuulivoimaloiden
a) etuja
b) haittoja?

167. Kaavio esittää, miten Suomen sähköenergian tuotannossa käytettyjen energialähteiden määrä jakautuu.



Lähde: www.energia.fi

a) Mitkä ovat tärkeimmät energialähteet?
b) Kuinka suuri osa sähköenergiasta tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla?
c) Minkä energialähteen osuutta voitaisiin mielestäsi kasvattaa?
d) Minkä energialähteen osuutta voitaisiin mielestäsi pienentää?

168. Mitä ongelmia kotona syntyisi, jos sähkönjakelu keskeytyisi viikoksi
a) kesällä
b) talvella?

169. Miten kivihiili on syntynyt?

170. Vertaile sivulla 87 olevien taulukon aineiden lämpöarvoja.
- **a)** Millä polttoaineista on suurin lämpöarvo?
- **b)** Mitkä polttoaineista ovat fossiilisia polttoaineita?
- **c)** Miksi vetyä ei vielä juurikaan käytetä polttoaineena?
- **d)** Mitä vedyn palamisreaktiossa syntyy?

171. Mitä haittoja ja hyötyjä on uusien vesivoimaloiden rakentamisesta?

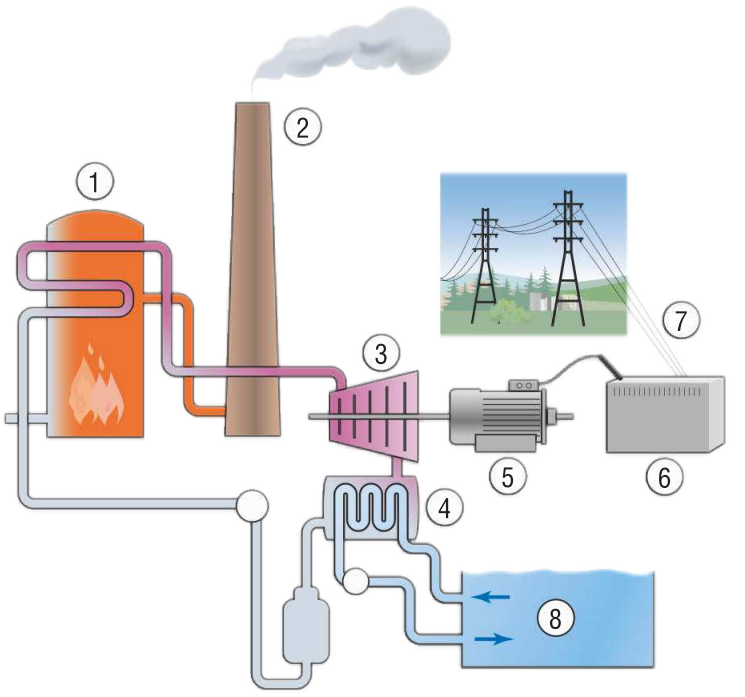
172. Litran vesimäärän lämmittäminen 20-asteisesta kiehuvaksi tarvitaan noin 340 kJ energiaa. Kuinka paljon kuivia polttopuita tarvitaan lämmittämiseen nuotiolla, jos arvioidaan, että noin 5 % puiden palamisesta vapautuvasta energiasta saadaan hyödyksi? Esim. 2

173. Erään koskireitin keskivirtaama on 74 m^3/s ja pudotuskorkeus 14,5 m. Koskireitti päätettiin suojella koskirakentamiselta.
- **a)** Vertaa kosken virtaamaa Imatrankosken virtaamaan, joka on 600 m^3/s.
- **b)** Miten koskireittiä voidaan hyödyntää suojeltuna?
- **c)** Kuinka paljon veden potentiaalienergiaa vapautuu koskessa minuutissa? Esim. 3

174. Kuinka paljon energiaa vapautuu, kun 250 g bensiiniä palaa auton moottorissa? Esim. 2

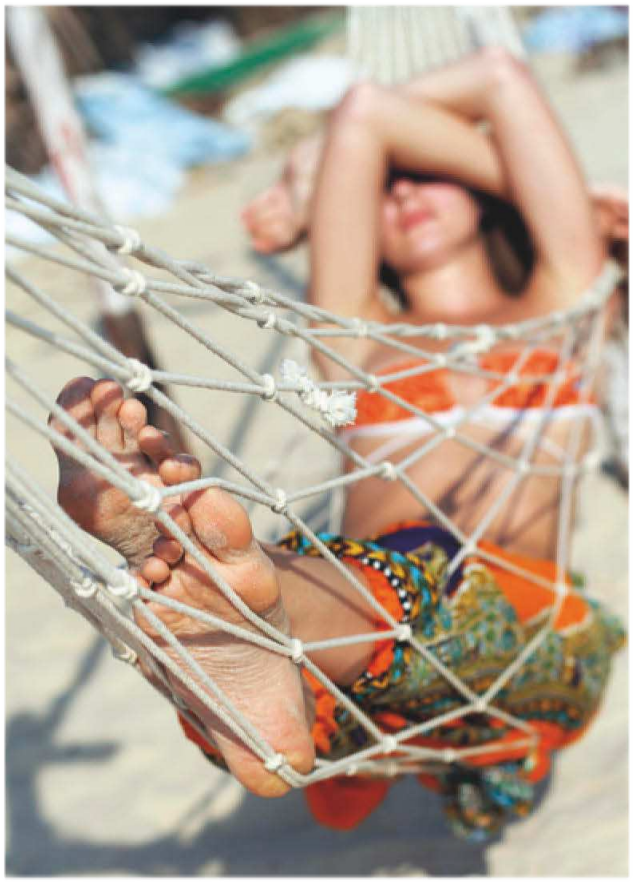
175. Bensiinin lämpöarvo on 43 MJ/kg. Kuinka paljon bensiiniä tarvitaan, jotta auto nousee 150 m korkean mäen päälle? Auton massa on 1 600 kg ja auto voi käyttää noin 18 % bensiinin kemiallisesta energiasta mäen nousuun. Esim. 2

176. Höyryvoimalaitos



a) Nimeä lämpövoimalaitoksen osat.
b) Miten energia muuntuu voimalaitoksessa?

13 Säteily – aaltoja ja hiukkasia



Auringon energia tulee Maahan säteilynä. Auringon säteily ylläpitää elämää maapallolla.

Hiukkassäteily
Hiukkassäteilyä on kolmea tyyppiä: alfa-, beeta- ja neutronisäteily.

Sähkömagneettinen säteily on aaltoliikettä ja hiukkassäteily hiukkasten liikettä

Muun muassa Auringon valo ja röntgensäteily ovat sähkömagneetista säteilyä. Sähkömagneettinen säteily on aaltoliikettä, jonka aallonpituus vaihtelee säteilyn syntytavan mukaan äärimmäisen lyhyestä hyvin pitkään. Sähkömagneettisen säteilyn ominaisuudet ovat riippuvaisia siitä, miten suuri energia säteilyllä on. Mitä pienempi sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus on, sitä suurempi säteilyyn liittyvä energia on.

Hiukkassäteilyä vapautuu radioaktiivisten atomien ytimistä alfa- tai beetahiukkasina. Esimerkiksi ydinvoimaloiden polttoainesauvoissa olevat uraanin hajoamistuotteet lähettävät alfa- ja beetahiukkasia. Ydinvoimalaonnettomuuksissa ilmakehään saattaa päästä polttoainesauvoista irronnutta hienojakoista pölyä. Pöly koostuu alkuaineista, joiden atomien ytimistä lähtee alfa- ja beetahiukkasia.

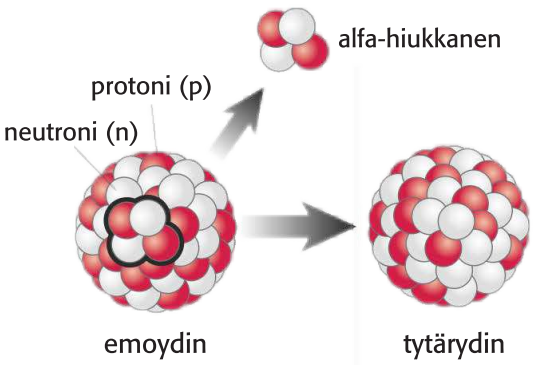
Hiukkassäteilyä vapautuu radioaktiivisten aineiden ytimistä

Alfasäteily koostuu alfahiukkasista. Radioaktiivisen aineen atomin ydin voi hajota niin, että ydin lähettää alfahiukkasen α, jonka rakenne on sama kuin heliumatomin ytimellä: kaksi protonia ja kaksi neutronia, ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$. Hajoamista sanotaan alfahajoamiseksi ja ytimestä lähteviä alfahiukkasia sanotaan alfasäteilyksi.

Kun ytimestä lähtee alfahiukkanen, ydin muuttuu toisen alkuaineen ytimeksi. Alkuperäistä ydintä sanotaan **emoytimeksi** ja jäljelle jäävää ydintä **tytärytimeksi**. Koska alfahiukkasen massaluku on neljä ja järjestysluku kaksi ($\alpha = {}^{4}_{2}\mathrm{He}$), alfahajoamisessa emoytimen massaluku pienenee neljällä ja järjestysluku pienenee kahdella.

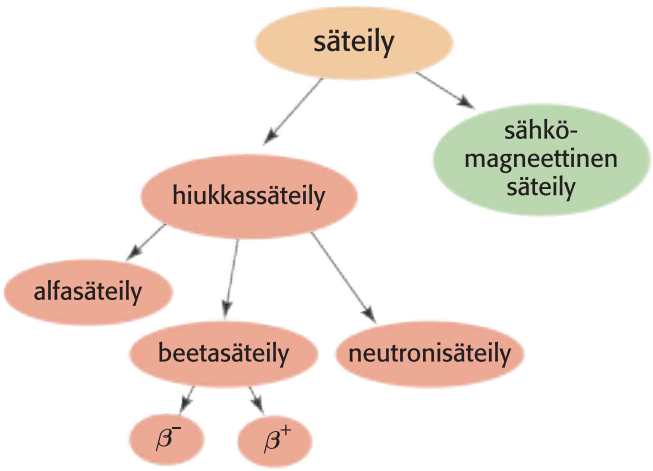
Vaikka alfahiukkaset poistuvat ytimestä hajoamisen jälkeen nopeudella, joka on noin 10 % valon nopeudesta, ne etenevät ilmassa vain muutamia senttimetrejä. Alfahiukkanen menettää nopeasti liike-energiansa, koska se on vuorovaikutuksessa ilman molekyylien kanssa.

Alfahajoaminen



Alfahajoamisessa ydin lähettää alfahiukkasen, jonka rakenne on heliumatomin ydin.

Hiukkassäteilyn lajit



Beetasäteily koostuu beetahiukkasista. Radioaktiivisen aineen atomin ydin voi hajota myös niin, että ytimen neutroni muuttuu protoniksi. Hajoamisessa syntyy β^--hiukkanen ja antineutriino. Jos taas ytimen protoni muuttuu neutroniksi, hajoamisessa syntyy β^+-hiukkanen ja neutriino. Syntyvää säteilyä kutsutaan **beetasäteilyksi** ja hajoamista **beetahajoamiseksi**.

β^--hiukkaset ovat samanlaisia kuin atomin elektronit, ja **β^+-hiukkaset** eli positronit ovat elektronien kaltaisia, mutta niiden varaus on positiivinen. Beetahajoamisen yhteydessä syntyvät neutriinot (ν) ja antineutriinot ($\bar{\nu}$) ovat varauksettomia hiukkasia. Niitä on äärimmäisen vaikea havaita, koska ne kokevat vain heikon vuorovaikutuksen.

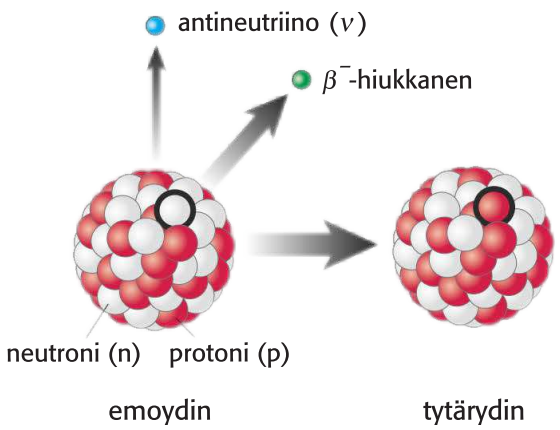
Beetahajoamisessa ytimen protonien ja neutronien kokonaismäärä pysyy samana, joten massaluku ei muutu. β^--hajoamisessa järjestysluku kasvaa yhdellä ja β^+-hajoamisessa järjestysluku pienenee yhdellä.

Beetahiukkasten massa on hyvin pieni, joten ne vaihtavat kulkusuuntaansa törmätessään lähellä oleviin atomeihin tai molekyyleihin. Näissä törmäyksissä ne menettävät myös energiansa. Beetasäteily kulkee ilmassa vain muutamia metrejä.

Neutronisäteily koostuu neutroneista. Neutroni on ytimen varaukseton hiukkanen. Säteilyä, joka koostuu neutroneista, sanotaan **neutronisäteilyksi**. Neutronisäteilyä voi syntyä, kun ydin hajoaa itsestään tai ytimen hajoaminen aiheutetaan keinotekoisesti. Lisäksi neutroneita esiintyy avaruuden kosmisessa säteilyssä.

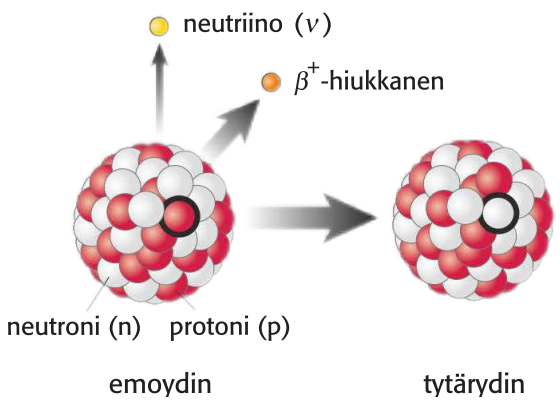
Neutroneilla ei ole sähkövarausta, joten ne eivät vuorovaikuta aineen elektronien kanssa. Neutronit tunkeutuvat aineeseen syvemmälle kuin varatut hiukkaset. Neutronien vuorovaikutukset aineen kanssa aiheutuvat vahvasta vuorovaikutuksesta.

Beetamiinushajoaminen



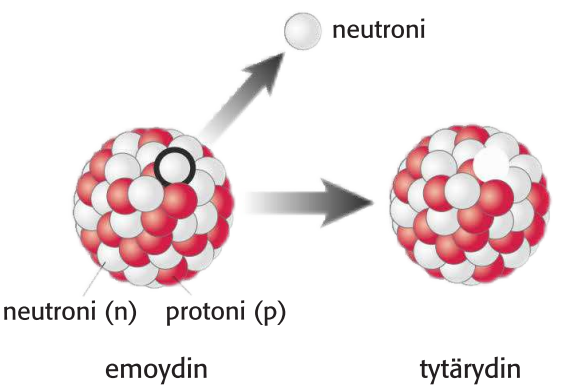
Beetamiinushajoamisessa neutroni muuttuu protoniksi, joten tytärytimen järjestysluku kasvaa yhdellä. Ydin lähettää beetamiinushiukkasen, joka on elektroni.

Beetaplushajoaminen



Beetaplushajoamisessa protoni muuttuu neutroniksi, joten tytärytimen järjestysluku pienenee yhdellä. Ydin lähettää beetaplushiukkasen, joka on elektronin antihiukkanen positroni.

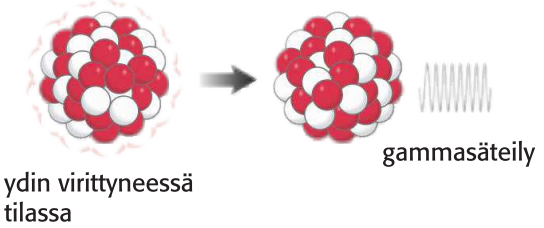
Neutronisäteily



Kun ydin säteilee neutronin, ytimen järjestysluku ei muutu, mutta ytimen massaluku pienenee yhdellä.

Sähkömagneettinen säteily
Sähkömagneettisen säteilyn lajeja ovat: gammasäteily, röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily, mikroaallot ja radioaallot.

Gammasäteily



Gammasäteily on sähkömagneettista säteilyä.

Suurin osa meistä on käynyt röntgenkuvassa luumurtumien tai hammashoidon yhteydessä.

Näkyvävalo on sähkömagneettista säteilyä

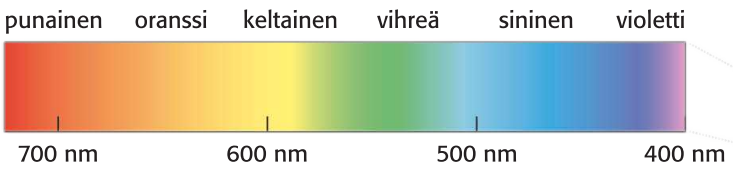
Gammasäteily on sähkömagneettista säteilyä. Ydin jää alfa- ja beetahajoamisen jälkeen usein virittyneeseen tilaan, jolloin ytimessä on ylimääräistä energiaa. Alfa- ja beetahajoamisen yhteydessä ytimestä vapautuu virityksen purkautuessa sähkömagneettista gammasäteilyä. Lähettäessään gammasäteilyä ydin ei muutu toisen alkuaineen ytimeksi. Ainoastaan ytimen energiamäärä muuttuu. Gammasäteilyn aallonpituus on pieni, joten sen energia on suuri.

Röntgensäteilyä tuotetaan röntgenputkissa, joissa suureen nopeuteen kiihdytetyt elektronit osuvat metallikappaleeseen. Elektronien jarruuntuessa niiden liike-energia muuntuu säteilyenergiaksi. Röntgensäteilyn aallonpituus on suurempi kuin gammasäteilyn, mutta se on silti lyhytaaltoista. Siksi myös röntgensäteilyn energia on suuri.

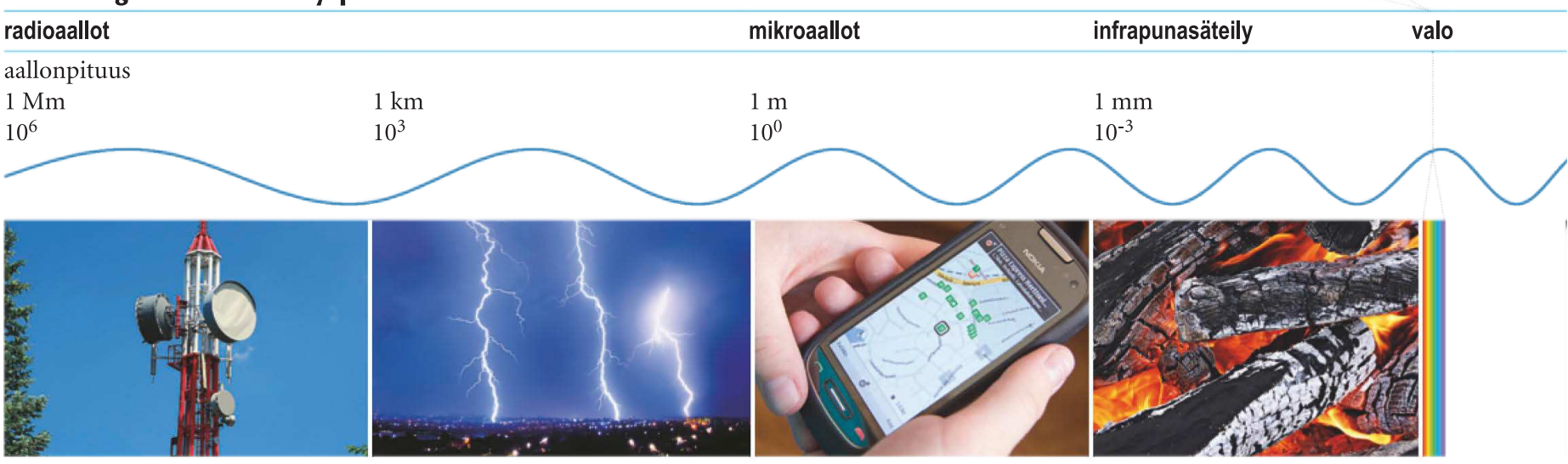
Ultraviolettisäteilyn aallonpituus on röntgensäteilyä suurempi, mutta näkyvää valoa pienempi. Suurin osa Auringon ultraviolettisäteilystä on aallonpituusalueella 0,000 320–0,000 400 mm, juuri tämä säteily aiheuttaa ihon ruskettumisen. Ultraviolettisäteily on ihmiselle välttämätöntä, koska sen vaikutuksesta ihon pinnalla syntyy D-vitamiinia. Liian suurina annoksina ultraviolettisäteily on kuitenkin vaarallista. Se lisää muun muassa ihosyövän mahdollisuutta. Ilmakehän otsoni estää lyhytaaltoisen, elämälle vaarallisen, UV-säteilyn pääsyä maanpinnalle.

Ultraviolettisäteilyä käytetään muun muassa seteleiden, passien ja luottokorttien aitouden varmistamiseen. Lyhytaaltoinen ultraviolettisäteily tappaa bakteereja, joten sen avulla voidaan desinfioida muun muassa juomavettä ja sairaalavälineistä.

Näkyvän valon spektrin värit ja niiden aallonpituudet



Sähkömagneettinen säteilyspektri



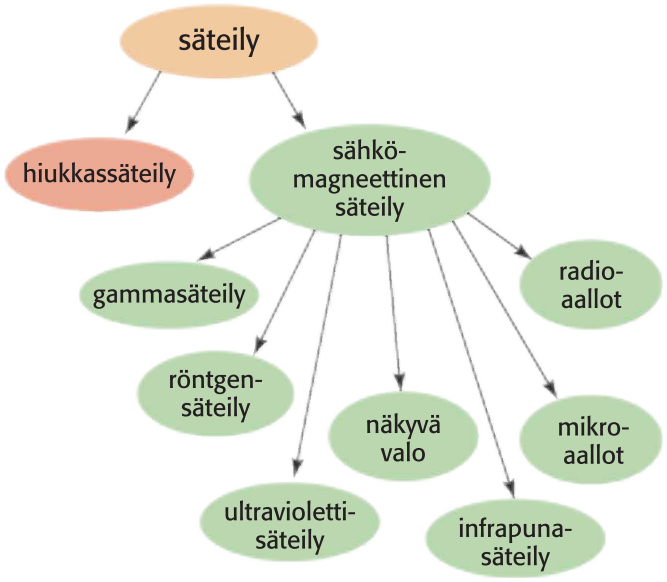
Vaihtovirtapiirit synnyttävät pitkäaaltoisia radioaaltoja.

Sähkökipinöinti synnyttää radioaaltoja.

Viestinnässä käytetään mikro- ja radioaaltoja.

Hehkuva kappale lähettää näkyvää valoa ja infrapunasäteilyä.

Sähkömagneettisen säteilyn lajit



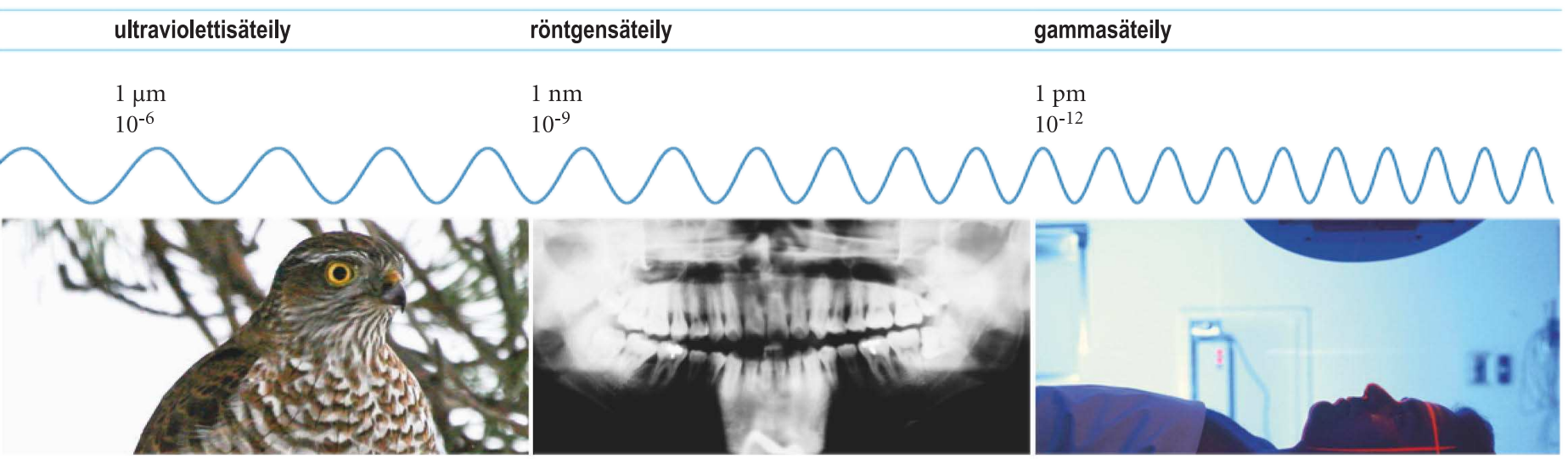
Näkyvä valo on elämän kannalta välttämätöntä. Ihmisen ja monien eläinten silmät ovat kehittyneet havaitsemaan parhaiten näkyvän valon aallonpituuksia. Näitä vastaavat värit havaitsemme sateenkaaressa. Sateenkaaren sinivioletti valo on aallonpituudeltaan 0,000 400 mm. Aallonpituuden kasvaessa muut värit ovat sininen, vihreä, keltainen, oranssi ja punainen. Punaisen valon aallonpituus on noin 0,000 700 mm. Kasvit tarvitsevat näkyvää valoa yhteyttämiseen. Siinä auringon valoenergia varastoituu kasvien kemialliseksi energiaksi. Kaikki eliöt saavat energiaa joko suoraan tai välillisesti kasvien valmistamista sokereista.

Infrapunasäteilyn aallonpituus on suurempi kuin näkyvän valon. Kaikki kappaleet ja eliöt lähettävät infrapunasäteilyä, jonka aallonpituus riippuu säteilyä lähettävän kappaleen lämpötilasta. Auringon pintalämpötila on noin 5 500 °C. Sen lähettämä säteily on voimakkainta näkyvän valon aallonpituusalueella. Auringon säteilyssä on mukana runsaasti myös infrapuna-aallonpituuksia, minkä aistii helposti kuumana kesäpäivänä lämpönä.

Infrapunasäteilyä käytetään hyödyksi monissa tekniikan sovelluksissa. Muun muassa lämpökameroiden, yökiikareiden, kauko-ohjaimien ja langattoman tiedonsiirron toiminta perustuu infrapunasäteilyyn. Ihmisen iho aistii osan infrapuna-alueen säteilystä lämpönä. Myös monet hyönteiset ja käärmeet löytävät saaliinsa eläimen lähettämän infrapunasäteilyn avulla.

Mikro- ja **radioaaltoja** tuotetaan sähköisten värähtelypiirien ja antennien avulla. Mikroaaltojen aallonpituus on millimetrin tuhannesosista muutamiin senttimetreihin, ja radioaaltojen aallonpituus vaihtelee muutamasta senttimetristä kymmeniin kilometreihin.

Mikroaallot etenevät ilmakehässä lähes vaimentumatta, joten niiden käyttö on lisääntynyt matkapuhelimien, tv-satelliittien ja tutkalaitteiden myötä.



Petolintu näkee saaliin myös ultraviolettisäteilyn avulla.

Röntgenkuvaus on terveydenhuollon käytetyimpiä tutkimusmenetelmiä.

Sädehoidossa käytetään gammasäteilyä.

Tiivistelmä

- Hiukkassäteilyn lajeja ovat alfasäteily, beetaplussäteily ja beetamiinussäteily sekä neutronisäteily.
- Alfahajoamisessa atomin ytimen massaluku pienenee neljällä ja järjestysluku pienenee kahdella.
- Beetamiinushajoamisessa ytimen neutroni muuttuu protoniksi. Atomin ytimen järjestysluku kasvaa yhdellä.
- Beetaplushajoamisessa ytimen protoni muuttuu neutroniksi. Atomin ytimen järjestysluku pienenee yhdellä.
- Sähkömagneettisen säteilyn lajeja ovat: gammasäteily, röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily, mikroaallot ja radioaallot.

Esimerkki 1 — Alfahajoaminen

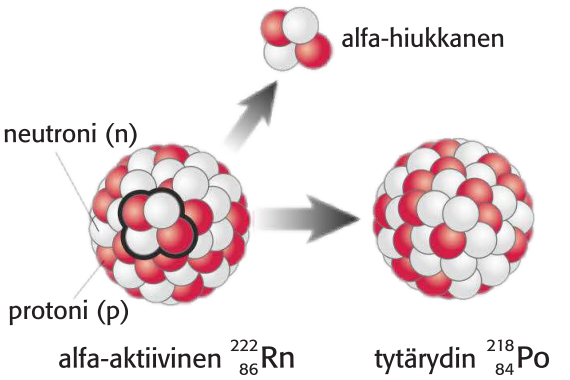
Mikä on radonytimen $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ alfahajoamisessa syntyvä tytärydin?

Ratkaisu

Radonytimestä poistuu kaksi protonia ja kaksi neutronia.
Koska protonien lukumäärä pienenee kahdella, tytärytimen järjestysluvuksi tulee $Z = 86 - 2 = 84$. Taulukkokirjasta nähdään, että tämä on poloniumin järjestysluku.

Massaluku pienenee neljällä $A = 222 - 4 = 218$.

Tytärydin on polonium $^{218}_{84}\mathrm{Po}$.



Radonin hajoaminen voidaan kuvata hajoamisyhtälöllä:
$^{222}_{86}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

Vastaus

Tytärytimeksi jää polonium $^{218}_{84}\mathrm{Po}$.

Huomio!

Hajoamisyhtälössä massaluku ja järjestysluku eli varausluku säilyvät. Niiden määrä yhtälön molemmilla puolilla on yhtä suuri.

A: $222 = 218 + 4$
Z: $86 = 84 + 2$

Esimerkki 2 — Beetahajoaminen (β^-)

Mitä jää tytärytimeksi, kun hiili-14-ydin β^- hajoaa?

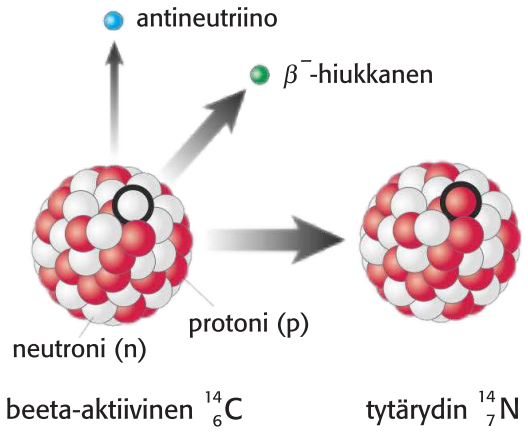
Ratkaisu

Taulukkokirjasta nähdään, että hiilen järjestysluku on $Z = 6$.

β^--hajoamisessa hiili-14-ytimen yksi neutroni muuttuu protoniksi, joten ytimen järjestysluku kasvaa yhdellä. Tytärytimen järjestysluku on $Z = 7$, jolloin uusi ydin on typpiydin. Koska samalla neutronien määrä pienenee yhdellä, massaluku pysyy samana.

β^--hajoamisessa syntyy β^--hiukkanen ja antineutriino ($\bar{\nu}$).

Hiili-14-atomin ydin muuttuu typpi-14-atomin ytimeksi.



Hiili-14-ytimen hajoaminen voidaan kuvata hajoamisyhtälöllä

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}.$$

Vastaus

Tytärytimeksi jää typpi $^{14}_{7}N$.

Huomio!

Hajoamisyhtälössä massaluku ja järjestysluku eli varausluku säilyvät

A: $14 = 14 + 0$

Z: $6 = 7 + (-1)$

Esimerkki 3 — Radioaktiivinen päästö

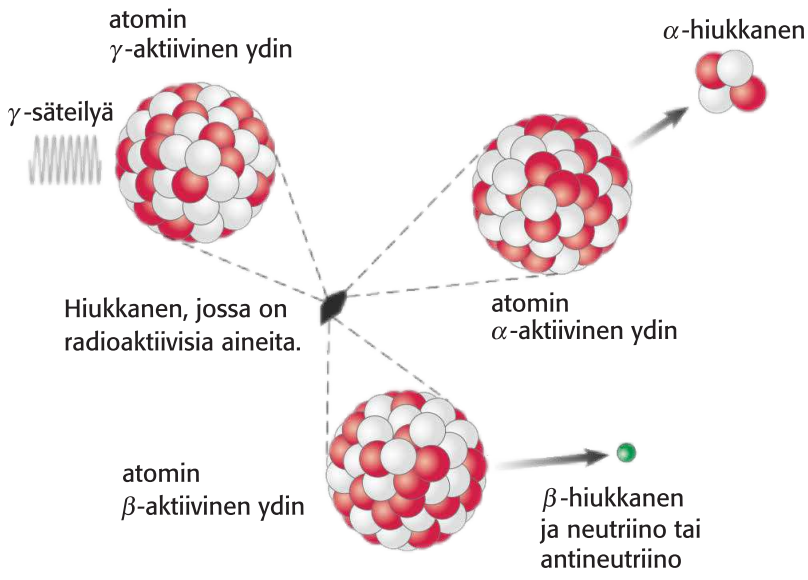
Keväällä 2011 tapahtui Japanin rannikolla voimakas maanjäristys. Järistyksen aiheuttama tsunami vaurioitti Fukushiman ydinvoimalaitoksia. Uutisissa kerrottiin, että ydinvoimaloista pääsi ympäristöön radioaktiivista säteilyä.

a) Mitä ydinvoimalasta pääsi ympäristöön?

b) Miten ydinvoimalaitoksen päästöt liikkuvat ilmassa?

Ratkaisu

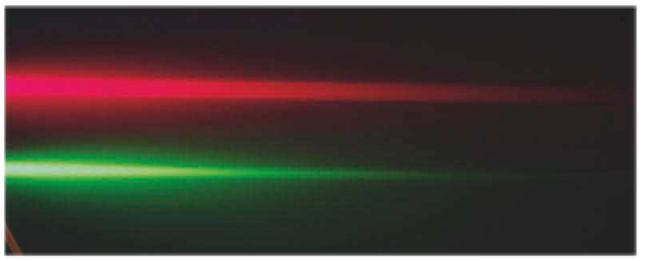
a) Vaurioituneista ydinvoimalaitoksista pääsi ympäristöön hiukkasia, joissa olevien aineiden atomien ytimet olivat radioaktiivisia. Radioaktiivisuus tarkoittaa, että atomien ytimet voivat lähettää alfa- tai beetahiukkasia sekä sähkömagneettista gammasäteilyä.



b) Hiukkaset liikkuvat ilmakehässä tuulen mukana.

Esimerkki 4 — Näkyvän valon aallonpituuden suuruus ilmassa

Kaksi laser-kynää lähettää eriväristä valoa. Etsi taulukkokirjasta, mitkä voisivat olla
a) punaisen,
b) vihreän
laservalon aallonpituudet ilmassa, ja muuta ne millimetreiksi.



Taulukkokirjan fysiikan osuudessa on koottu aaltoliike- ja valo-opin taulukkotietoja. Sieltä löytyvät sähkömagneettisen säteilyn spektri ja näkyvän valon aallonpituudet.

a) Punaisen valon aallonpituus ilmassa on 630 nm – 700 nm.

Punaisen valon alaraja

$$\begin{aligned} 630\ \text{nm} &= 630 \cdot 10^{-9}\ \text{m} \\ &= 0{,}000\,000\,630\ \text{m} \\ &= 0{,}000\,630\ \text{mm} \end{aligned}$$

Punaisen valon yläraja

$$\begin{aligned} 700\ \text{nm} &= 700 \cdot 10^{-9}\ \text{m} \\ &= 0{,}000\,000\,700\ \text{m} \\ &= 0{,}000\,700\ \text{mm} \end{aligned}$$

b) Vastaavasti vihreän valon aallonpituus ilmassa on 490 nm – 560 nm eli 0,000 490 mm – 0,000 560 mm.

Huomaa!

Etuliite nano (n) on 10^{-9} eli miljardisosa.

Vastaus

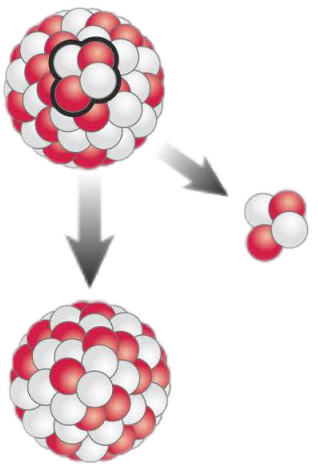
a) Punaisen valon aallonpituus on 0,000 630 mm – 0,000 700 mm.
b) Vihreän valon aallonpituus on 0,000 490 mm – 0,000 560 mm.

13 Tehtävät — Perustehtävät

177. Järjestä seuraavat sähkömagneettisen säteilyn lajit aallonpituuden mukaan kasvavaan järjestykseen: näkyvä valo, röntgensäteily, infrapunasäteily, mikroaallot, ultraviolettisäteily, radioaallot ja gammasäteily.

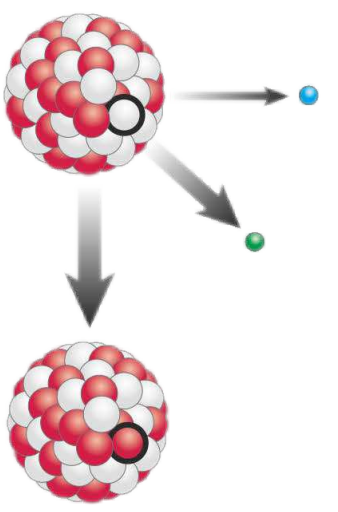
178. Etsi taulukkokirjasta sinisen valon aallonpituus ja muuta se millimetreiksi. Esim. ④

179. a) Nimeä hajoamisreaktio ja syntyvä hiukkanen.



b) Millainen ytimen hajoamisessa vapautuvan hiukkasen rakenne on? Esim. ①

180. a) Nimeä hajoamisreaktio ja syntyvät hiukkaset.



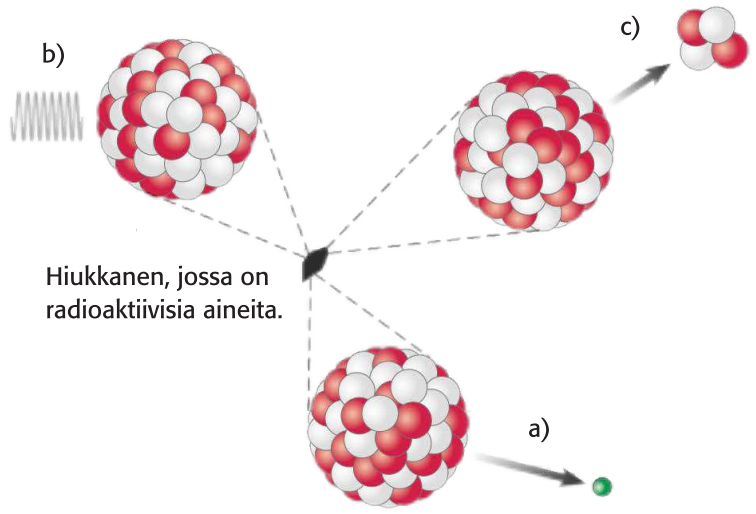
b) Millaisia ytimen hajoamisessa vapautuvat hiukkaset ovat? Esim. ②

181. Mitä ytimelle tapahtuu, kun se lähettää γ-säteilyä?

182. Mitä tarkoittaa käsite

a) ydin
b) isotooppi
c) α-hiukkanen
d) β^+-hiukkanen
e) β^--hiukkanen?

183. Keväällä 2011 Fukushimassa Japanissa tsunami vaurioitti ydinvoimalaitosta. Tällöin ilmaan pääsi hiukkasia, jotka sisälsivät radioaktiivisia aineita. Nimeä kuvaan radioaktiivisten ytimien lähettämä säteily. Esim. ③



13 Tehtävät — Soveltavat tehtävät

184. Mitä ytimelle tapahtuu, kun se lähettää α-hiukkasen? Esim. ①

185. Mitä ytimelle tapahtuu, kun se lähettää β^--hiukkasen? Esim. ②

186. Täydennä hajoamisyhtälöt. Esim. ①

a) ..... → $^{217}_{85}\mathrm{At} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

b) $^{218}_{86}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{214}_{84}\mathrm{Po} +$ .....

187. **a)** Täydennä hajoamisyhtälö.

$^{64}_{29}\mathrm{Cu} \rightarrow$ ..... $+ {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\upsilon}$

b) Minkä tyyppistä säteilyä hajoamisessa vapautuu? Esim. ②

188. Mainitse jokaisesta sähkömagneettisen säteilyn lajista yksi käyttökohde.

189. **a)** Mitä sähkömagneettisen säteilyn lajeista ihminen pystyy havaitsemaan aistein ilman mittalaitteita?

b) Miten havaitaan muut sähkömagneettisen säteilyn lajit?

190. Minkä nimistä sähkömagneettinen säteily on, ja mihin sitä voidaan käyttää, jos sen aallonpituuden suuruusluokka on

a) 10 – 80 cm
b) 500 nm
c) 150 pm
d) 10 km.

191. Ytimestä tiedetään, että siinä on 150 neutronia ja 94 protonia.

a) Mistä alkuaineesta on kyse?
b) Onko ydin pysyvä vai radioaktiivinen?

192. Uraani-238 -isotooppi on alfa-aktiivinen ydin. Kirjoita sen hajoamisyhtälö. Esim. ①

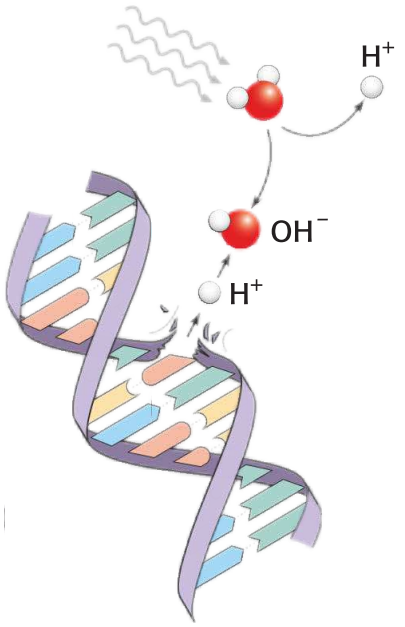
193. Etsi taulukkokirjasta, miten

a) torium-227 hajoaa. Kirjoita hajoamisyhtälö ja nimeä syntyvä tytärydin. Esim. ①
b) lyijy-209 hajoaa. Kirjoita hajoamisyhtälö ja nimeä syntyvä tytärydin. Esim. ②
c) polonium-205 hajoaa. Kirjoita hajoamisyhtälö ja nimeä syntyvä tytärydin.

14 Ionisoiva säteily ionisoi ainetta

Atomista tai molekyylistä tulee **ioni**, kun siihen liittyy tai siitä irtoaa yksi tai useampi elektroni.

Ionisoiva säteily irrottaa atomista elektroneja, jolloin atomista tulee ioni.



Ionisoiva säteily voi hajottaa kudoksessa vesimolekyylin vetyioniksi (H^+) ja hydroksidi-ioniksi (OH^-). Hydroksidi-ioni sieppaa vetyionin esimerkiksi DNA-molekyyliltä, jolloin DNA-ketju vaurioituu.

Ionisoiva säteily vahingoittaa kudosta

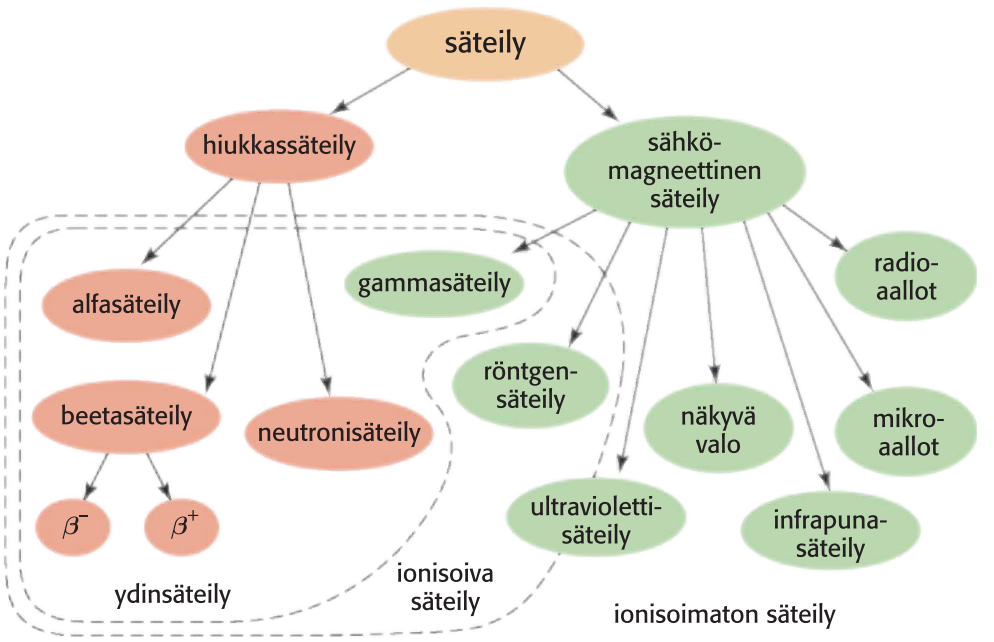
Säteily jaetaan **ionisoivaan** ja **ionisoimattomaan** säteilyyn. Ionisoivalla säteilyllä on riittävästi energiaa irrottaa säteilyn kohteeksi joutuvan aineen atomeista elektroneja tai rikkoa aineen molekyylien sidoksia. Tällöin kudokseen syntyy ioneja, joilla on sähkövaraus. Syntyneet ionit ja vapautuneet elektronit aiheuttavat soluissa kemiallisia muutoksia, jotka vaurioittavat solujen elintärkeitä molekyylejä, kuten entsyymi- ja DNA-molekyylejä.

Ionisoivan säteilyn vaarallisuus riippuu siitä, miten voimakkaasti säteily ionisoi. Gammasäteily läpäisee ihon ja etenee kudoksessa suhteellisen pitkän matkan ennen kuin se joutuu vuorovaikutukseen atomin kanssa. Koska vuorovaikutustapahtumia on harvakseltaan, kudos kestää ne ja pystyy korjaamaan vauriot.

Raskas ja isokokoinen alfahiukkanen ei läpäise ihoa. Jos alfa-aktiivista ainetta joutuu ruoan ja hengitysilman mukana elimistöön, se ionisoi voimakkaasti ja vahingoittaa kudosta pienellä alueella paljon. Beetasäteily tunkeutuu ihon läpi ja vaurioittaa ihoa sekä kudosta ihon alla.

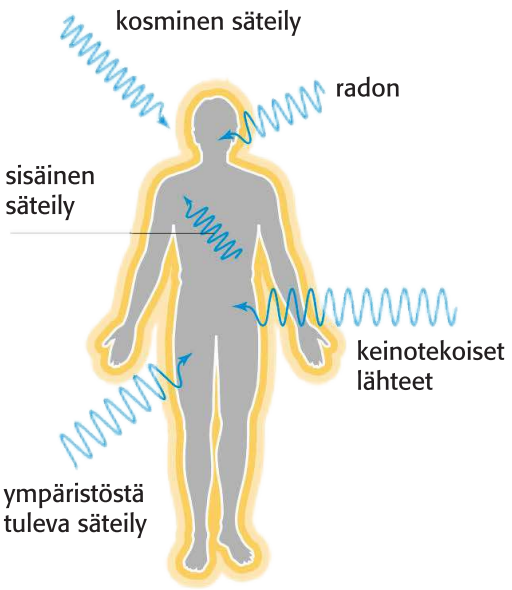
Säteilylle kaikkein herkimpiä ovat elimet, joissa syntyy uusia soluja. Tällaisia ovat luuydin, perna, munasarjat ja kivekset. Sukurauhasiin osuva säteily on erityisen vaarallista. Se voi aiheuttaa perinnöllisiä vaurioita, jotka ilmenevät jälkeläisissä vasta vuosien päästä. Pienikin määrä ionisoivaa säteilyä voi aiheuttaa syöpää. Runsas määrä ionisoivaa säteilyä aiheuttaa niin paljon muutoksia, että solu kuolee.

Säteilyn energia sitoutuu kudokseen ionisoimalla sen atomeja ja molekyylejä ja rikkomalla kemiallisia sidoksia. Säteilyn vaikutuksesta kudos voi myös lämmetä.



Säteilylajit luokitellaan säteilyn syntytavan, vaikutuksen ja säteilytyypin perusteella.

Taustasäteily on luonnosta tulevaa säteilyä. Se koostuu muun muassa maaperän radioaktiivisten aineiden säteilystä, kosmisesta taustasäteilystä ja kehon sisältämien radioaktiivisten aineiden säteilystä.



Ionisoivan säteilyn lähteitä voi joutua ruoan ja hengitysilman mukana ihmisen elimistöön. Muun muassa päivittäisessä kaliumannoksessamme on aina jonkin verran radioaktiivista kalium-40-isotooppia. Tällöin kaliumisotooppi toimii sisäisenä säteilylähteenä.

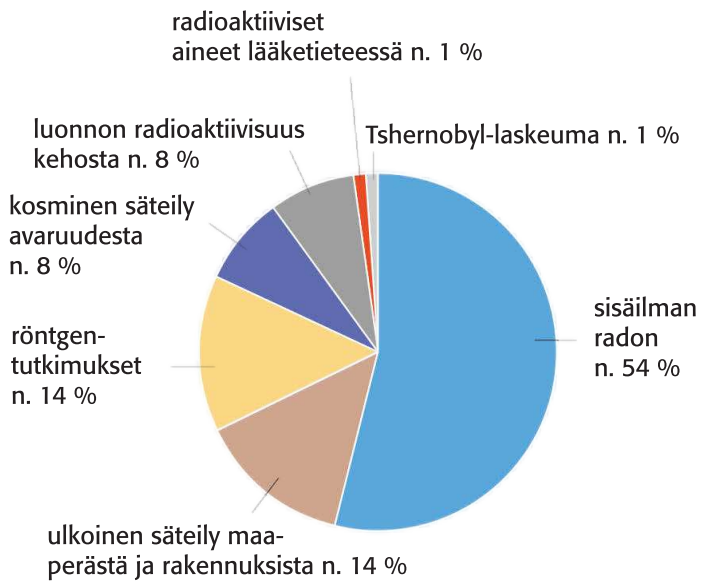
Ionisoivaa säteilyä on kaikkialla

Merkittävin ionisoivan säteilyn lähde on maaperän radon. Vaikka ilmakehä suojaa Maata, altistumme jonkin verran avaruudesta tulevalla ionisoivalle säteilylle. Myös rakennusten tiili- ja betoniseinät sisältävät radioaktiivisia aineita. Ympäristöstämme tulevaa säteilyä nimitetään **taustasäteilyksi**.

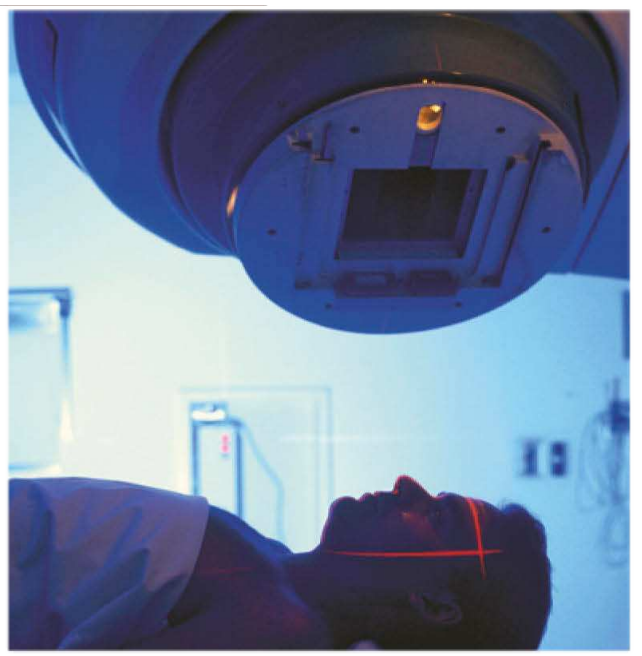
Radonin lisäksi muun muassa kalium-40-isotooppia voi joutua sekä ruoan että hengitysilman mukana ihmisen elimistöön, jolloin se toimii sisäisenä säteilylähteenä. On vaikea valmistaa esineitä, joissa ei olisi radioaktiivisia aineita.

Suomalainen kallioperä sisältää runsaasti uraania, jonka hajoamisen seurauksena syntyy radonkaasua. Radonkaasua voi olla liuenneena porakaivon veteen, tai se voi kulkeutua talon perustusten kautta huoneilmaan. Radonkaasua ei pääse kertymään huoneilmaan, jos talon perustukset tiivistetään huolellisesti, ja huoneilmaa tuuletetaan hyvin. Siihen, miten paljon altistumme radonista peräisin olevalle alfasäteilylle, vaikuttavat asuinpaikka ja rakennusmateriaalit sekä itse rakennus, jossa asumme.

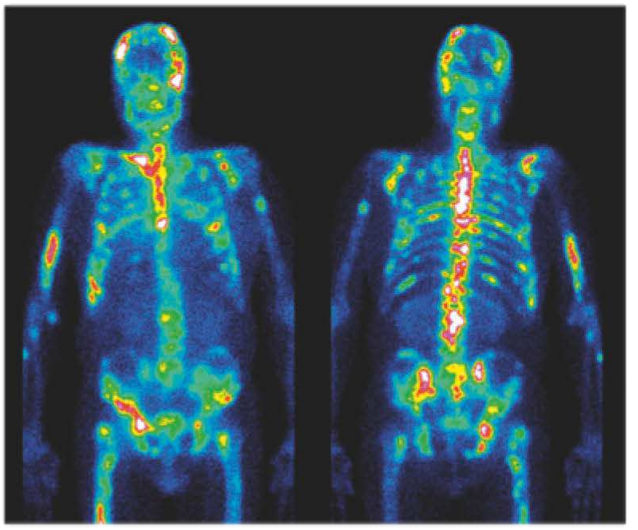
Keinotekoisista säteilyn lähteistä merkittävin on lääketieteellisten tutkimusten yhteydessä saatava säteily, muun muassa röntgensäteily. Ydinvoimalat ja toisen maailmansodan jälkeen ilmakehässä tehdyt ydinkokeet ovat aiheuttaneet pienen lisän ihmisten vuosittain saamaan säteilymäärään. Ydinvoimalaitosten osuus suomalaisten vuotuisesta säteilyannoksesta on alle promillen. Suomalaisten saamaa säteilymäärää lisäsi hieman vuonna 1986 Valko-Venäjällä Tshernobylin ydinvoimalassa tapahtunut onnettomuus.



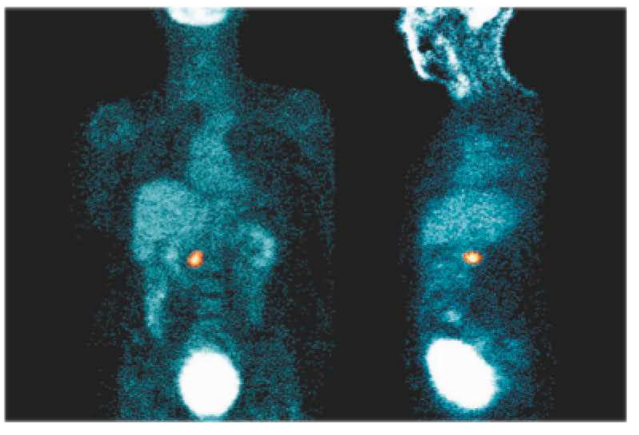
Suomalainen saa ionisoivaa säteilyä pääasiassa luonnosta ja röntgentutkimuksista. Luonnon radioaktiivisia aineita siirtyy elimistöön ruuan, juoman ja hengitysilman mukana. Eri ihmisten saama säteilymäärä vaihtelee muun muassa asuinpaikan sekä lääketieteellisten tutkimusten ja hoitojen mukaan.



Röntgentutkimuksilla on keskeinen merkitys tautien määrityksissä. Suomessa tehdään yli 700 röntgentutkimusta 1000 asukasta kohden vuodessa. Röntgensäteily on ionisoivaa säteilyä.



Luuston isotooppikuva. Kun radioaktiivinen merkkiaine hakeutuu luustoon, gammakameralla otetusta kuvasta voidaan havaita luustossa mahdollisesti oleva kasvain.



PET-kuvantamistekniikan avulla syöpäkasvain pystytään paikallistamaan varhaisessa vaiheessa. Kuvassa syöpäkasvain näkyy keltaisena.

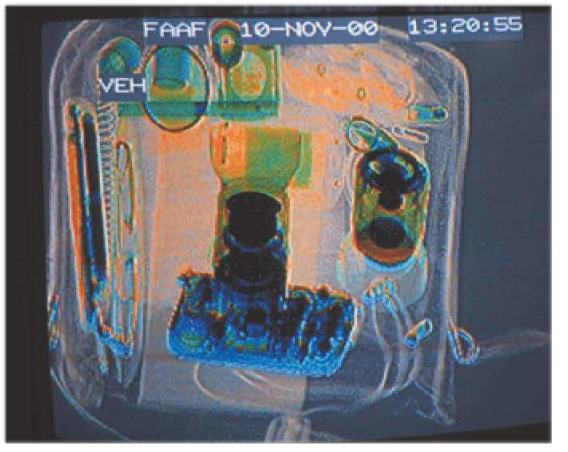
Ionisoivalla säteilyllä on paljon sovelluksia

Lääketieteessä ionisoivaa säteilyä käytetään tutkimustyössä. Ionisoivan säteilyn avulla määritetään tauteja ja hoidetaan sairauksia. Esimerkiksi syöpäkudokseen kohdistetaan säteilyä tarkasti suunniteltu säteilyannos. Nopeasti jakautuva syöpäsolukko on herkempää säteilyn vaikutuksille kuin sitä ympäröivä terve kudos. Säteilyn energia imeytyy soluun, jolloin solu kuumenee ja tuhoutuu. Ionisoivalla säteilyllä voidaan myös steriloida esimerkiksi kirurgisia työvälineitä.

Biokemian ja lääketieteen tutkimuksissa radioaktiiviset isotoopit toimivat merkkiaineena. Saman alkuaineen pysyvillä ja radioaktiivisilla isotoopeilla on samat kemialliset ominaisuudet, joten ne käyttäytyvät kudoksessa samalla tavalla. Merkkiaineiden avulla tutkitaan esimerkiksi lääke- ja ravintoaineiden kulkua elimistössä tai voidaan seurata ravinteiden ja myrkkyjen kulkua luonnon prosesseissa.

Teollisuudessa röntgen- ja gammasäteilyä käytetään metallirakenteiden laadunvalvontaan. Säteilyn avulla voidaan paljastaa hitsaus- ja valuvirheitä tai rakenteiden halkeamia esimerkiksi paineastioissa, laivoissa ja siltarakenteissa. Merkkiaineiden avulla voidaan seurata esimerkiksi koneiden osien kulumista ja kemiallisten prosessien etenemistä.

Röntgensäteilyn avulla voidaan tutkia taulujen aitoutta. Röntgenkuvista erottuvat eri työvaiheet, päällemaalaukset ja yksittäisten värikerrosten paksuudet.



Turvatarkastuksessa läpivalaistaan matkalaukut. Myös matkustajia läpivalaistaan Helsinki-Vantaan lentoasemalla erityisellä röntgenlaitteella, jolloin nähdään vaatteiden alle piilotetut räjähteet sekä ampuma- ja teräaseet.

Säteilymittari

Fukushiman ydinvoimalaitoksen onnettomuuden jälkeen tutkittiin myös kotieläimiä geigermittarilla.

Annosmittari

Dosimetri on säteilyannosmittari. Säteilyvalvotulla alueella työskentelevät henkilöt pitävät mukanaan dosimetria. Sillä mitataan henkilön saamaa ionisoivan säteilyn annosta.

Säteilyä voidaan mitata

Ihminen voi aistia lämpösäteilyä ihollaan ja valoa silmillään, mutta muuta säteilyä ei voida havaita aisteilla. Siihen tarvitaan apuvälineitä. Ionisoivaa säteilyä voidaan mitata **geigerputkella** tai henkilökohtaisella annosmittarilla eli **dosimetrillä**. Molemmissa mitataan ionisoivan säteilyn synnyttämää sähkövirtaa.

Radioaktiivisuuden voimakkuutta kuvataan suureella **aktiivisuus**. Se ilmaisee, kuinka monta hajoamista radioaktiivisessa näytteessä tapahtuu sekunnissa. Aktiivisuuden yksikkö on **becquerel**, 1 Bq, joka vastaa yhtä hajoamista sekunnissa. Jos näytteen aktiivisuus on 40 kBq, se tarkoittaa, että 40 000 radioaktiivista ydintä hajoaa sekunnissa. Esimerkiksi marjojen tai kalojen radioaktiivista saastuneisuutta mitataan yksikkönä Bq/kg.

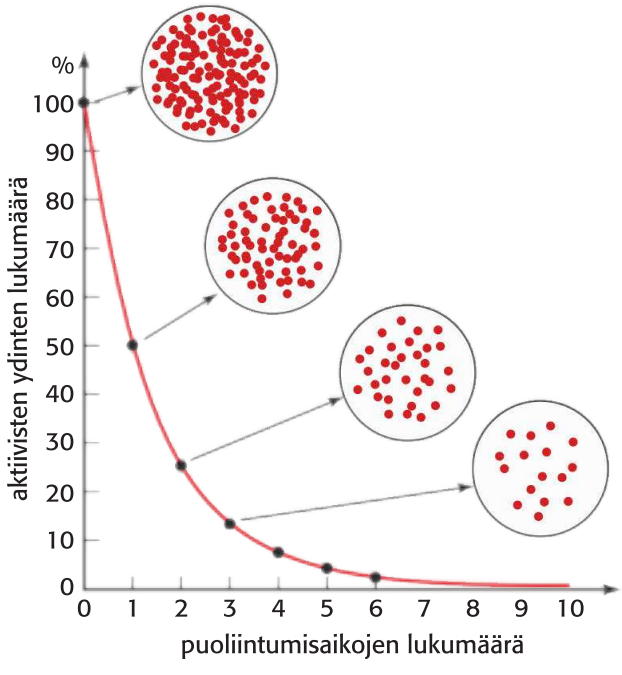
Puoliintumisaika kuvaa ytimen pysymättömyyttä

Aineen radioaktiivisuus heikkenee sitä mukaa, kun se lähettää säteilyä ympäristöönsä. **Puoliintumisaika** on aika, jonka kuluessa puolet radioaktiivisten atomien ytimistä on muuttunut toisiksi ytimiksi.

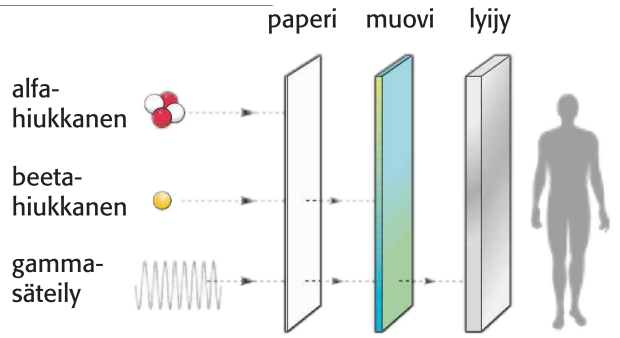
Puoliintumisajat vaihtelevat millisekunneista miljardeihin vuosiin. Esimerkiksi krypton-94-isotoopin puoliintumisaika on 1,4 sekuntia, vety-3-isotoopin 12,3 vuotta ja uraani-235-isotoopin 700 miljoonaa vuotta.

Puoliintumisaika kuvaa havainnollisesti, miten pysymätön ydin on. Radioaktiivinen aine on lyhyen aikaa voimakkaasti aktiivinen, kun sen puoliintumisaika on lyhyt. Jos puoliintumisaika on pitkä, näyte on heikosti aktiivinen pitkän aikaa. Puoliintumisajan pituudesta ei voida vielä suoraan päätellä, kuinka vaarallista radioaktiivinen aine on. Vaarallisuuteen vaikuttavat myös radioaktiivisen aineen määrä ja sen lähettämän säteilyn laatu.

Puoliintumisaika on aika, jonka kuluessa puolet radioaktiivisen isotoopin ytimistä on muuttunut toisiksi ytimiksi.



Puoliintumisaika kuvaa radioaktiivisten ydinten hajoamisnopeutta: ytimistä hajoaa yhtä pitkinä aikaväleinä yhtä suuri osa. Näytteen aktiivisuus pienenee vastaavalla tavalla, jos tytärydin ei ole radioaktiivinen.



Jokaisella säteilylajilla on ominainen kyky läpäistä ainetta.

Säteilylähde	Keskimääräinen vuotuinen säteily-annos (mSv)
sisäilman radon	2
ulkoinen säteily maaperästä ja rakennuksista	0,5
luonnon radioaktiivisuus kehosta	0,3
kosminen säteily avaruudesta	0,3
röntgentutkimukset	0,5
radioaktiiviset aineet lääketieteessä	0,04
Tshernobyl-laskeuma	0,04

Suomalaisen keskimääräinen vuotuinen säteilyannos on noin 3,7 mSv. Noin kuuden sievertin kerta-annos aiheuttaa ihmisen välittömän kuoleman.

Säteily heikkenee aineessa

Edetessään väliaineessa säteily heikkenee. Heikkeneminen riippuu säteilylajista, säteilyn energiasta ja aineesta, jossa säteily etenee. Mitä nopeammin säteily menettää energiansa, sitä lyhyemmän matkan se väliaineessa etenee.

Alfasäteily voi edetä ilmassa vain muutamia senttimetrejä, ja jo ohut paperi tai vaatekerros pystyy pysäyttämään alfahiukkasen.

Beetahiukkaset etenevät ilmassa muutaman metrin. Ne kykenevät tunkeutumaan syvemmälle aineeseen kuin alfahiukkaset, esimerkiksi kudoksessa muutamia millimetrejä. Ohuet metalli-, muovi- ja lasikerrokset sekä lautaseinä pysäyttävät beetahiukkasen sähkömagneettisen vuorovaikutuksen ansiosta. Erityisesti lyijykerros antaa hyvän suojan beetasäteilyä vastaan.

Gammasäteily on hyvin läpitunkevaa, joten siltä suojautuminen on vaikeaa. Parhaan suojan antavat raskaat alkuaineet. Lyijyseinän paksuuden pitää olla muutamia kymmeniä senttimetrejä, ja betoniseinää tarvitaan yli metrin paksuudelta, jotta säteily ei pääse läpi.

Efektiivinen annos kertoo säteilyn haitan

Säteilyn terveydellistä haittaa kuvataan suureella **efektiivinen annos**. Kun säteilyannosta lasketaan, otetaan huomioon kudosten erilainen säteilyherkkyys, kudokseen absorboitunut (imeytynyt) säteilyenergian määrä ja eri säteilylajien erilainen kyky ionisoida ainetta. Esimerkiksi alfasäteily on noin 20 kertaa haitallisempaa kuin beeta- tai gammasäteily, vaikka absorboituneet energiat olisivat yhtä suuret.

Efektiivisen annoksen yksikkö on **sievert** (Sv). Yhden sievertin annos on suuri määrä säteilyä. Usein annoksen suuruuden ilmaisemiseen käytetään sen tuhannesosia (mSv) tai miljoonasosia (μSv). Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos on noin 3,7 mSv vuodessa.

Säteilyvaara-merkki varoittaa säteilylähteestä. Alueelle ei saa mennä ilman pätevää syytä.

Kansainvälinen atomienergiajärjestö on kehittänyt uuden säteilyvaaramerkin täydentämään keltapohjaista varoitusmerkkiä. Punaisen merkin kohdalla ollaan todellisessa vaarassa ja on syytä poistua nopeasti paikalta. Itse asiassa kenenkään ei koskaan pitäisi joutua paikkaan, johon tämä merkki on asetettu.

Säteilyltä suojautuminen

Aika	Säteilyä käytetään tai säteilylle altistutaan niin lyhyt aika kuin mahdollista.
Suoja	Säteilyltä suojaudutaan mahdollisimman hyvin.
Etäisyys	Säteilylähteestä pysytään mahdollisimman kaukana.

Säteilyltä suojautuminen voidaan kiteyttää kirjaimiin ASE.

Ionisoivalta säteilyltä voi suojautua

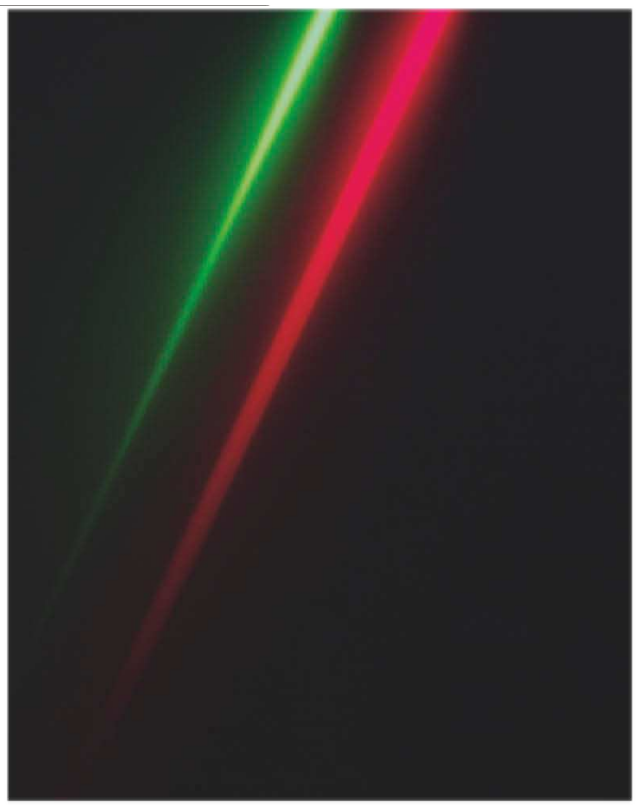
Radioaktiivisten ja ionisoivien aineiden käyttöön vaaditaan turvallisuuslupa. Töissä, joissa voi altistua säteilylle, työntekijöiden saamaa säteilymäärää seurataan koko ajan. Jokaisella työntekijällä on henkilökohtainen annosmittari eli dosimetri.

Suomessa säteily- ja ydinturvallisuutta valvoo riippumaton turvallisuusviranomainen Säteilyturvakeskus (STUK). Sen tehtäviin kuuluu myös säteilyhavainnoista tiedottaminen. Säteilyturvakeskuksella on koko maan kattava valvontaverkko, joka seuraa säteilytilannetta kaiken aikaa. Säteilyturvakeskus antaa myös radioaktiivisten aineiden käsittely- ja säilytysohjeet ja valvoo niiden noudattamista.

Vakavan säteilyvaaratilanteen todennäköisyys on Suomessa pieni, mutta onnettomuusriski on kuitenkin olemassa. Jos säteilytaso kohoaa jossain, Säteilyturvakeskus saa siitä välittömästi tiedon. Vakavan säteilyvaaratilanteen voi aiheuttaa onnettomuus radioaktiivisten aineiden kuljetuksessa tai ydinvoimalassa. Kaikista pienistäkin säteilytason muutoksista tiedotetaan ihmisille radiossa ja televisiossa.

Säteilylle altistumista voidaan vähentää säteilyvaaratilanteessa monilla toimenpiteillä. Varoitus annetaan yleisellä vaaramerkillä. Silloin kaikkien pitää hakeutua sisätiloihin sekä sulkea ja tiivistää ikkunat ja ovet. Tarkempia toimintaohjeita annetaan radiossa ja televisiossa. Jos ilmassa epäillään olevan radioaktiivista jodia, jota vapautuu yleensä ydinonnettomuudessa, ihmisiä kehotetaan nauttimaan joditabletteja. Silloin radioaktiivinen jodi ei pääse varastoitumaan kilpirauhaseen ja aiheuttamaan säteilyvaurioita. Tarvittaessa väestö evakuoidaan ja saastuneelle alueelle asetetaan kulkurajoituksia.

Pelastushenkilöstö suojautuu asianmukaisesti tilanteessa, jossa on vaara altistua säteilylle.



Näkyvästä valosta ei ole haittaa ihmiselle. Poikkeuksena on lasersäde, joka voi jopa heijastuneena olla vaarallinen, jos se osuu iholle tai silmiin. Näkyvä valo on ionisoimatonta säteilyä.

Matkapuhelimet lähettävät ja vastaanottavat tietoa mikroaaltojen avulla. Mikroaallot ovat ionisoimatonta säteilyä.

Ionisoimaton säteily

Sellaista säteilyä, jonka energia ei riitä katkomaan kemiallisia sidoksia, kutsutaan **ionisoimattomaksi säteilyksi**. Osa ultraviolettisäteilystä, näkyvä valo, infrapunasäteily sekä mikro- ja radioaallot ovat ionisoimatonta säteilyä. Ionisoimatonta säteilyä esiintyy kaikkialla elinympäristössämme ja se on enimmäkseen vaaratonta.

Ionisoimatonta säteilyä hyödynnetään monissa laitteissa. Esimerkiksi laserien toiminta perustuu näkyvään valoon, matkapuhelin, tutkien ja mikroaaltouunien toiminta perustuu mikroaaltoihin ja solariumin toiminta perustuu ultraviolettisäteilyyn. Radio ja televisio sekä lääketieteessä käytettävät magneettikuvauslaitteet toimivat radioaaltojen avulla.

Liian suuret annokset infrapunasäteilyä ja mikroaaltosäteilyä voivat kuumentaa kudosta. Mikroaaltosäteily on erityisen salakavalaa, koska ihon pinta ei kuumene, vaan kudokset lämpiävät sisältä.

Lasersäteen avulla voidaan leikata paksujakin metallilevyjä hyvin tarkasti.

Tiivistelmä

- Säteily luokitellaan ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn.
- Ionisoiva säteily vaikuttaa kudoksessa kahdella tavalla.
  1) Se irrottaa aineen atomeista elektroneja tai rikkoo molekyylejä. Tällöin syntyy ioneja, jotka reagoivat herkästi.
  2) Ionisoiva säteily kuumentaa soluja, jolloin ne tuhoutuvat.
- Radioaktiivisen näytteen aktiivisuus tarkoittaa hajoamisten määrää sekunnissa. Aktiivisuuden yksikkö on 1 Bq (becquerel).
- Puoliintumisaika on aika, jonka kuluessa puolet radioaktiivisen isotoopin ytimistä on muuttunut toisiksi ytimiksi.
- Efektiivinen annos ilmaisee säteilyn ihmiselle aiheuttaman terveydellisen haitan. Efektiivisen annoksen yksikkö on 1 Sv (sievert).

Esimerkki 1 — Puoliintumisaika

Fukushiman ydinvoimalaitosonnettomuuden jälkeen merestä otettiin vesinäytteitä. Eräästä näytteessä mitattiin radioaktiivisia jodiytimiä 850 000 kappaletta. Jodi-131-isotoopin puoliintumisaika on noin 8 vuorokautta.
Kuinka pitkän ajan kuluttua näytteessä on
a) 425 000
b) 26 500
radioaktiivista ydintä jäljellä?

Ratkaisu

Puoliintumisajan eli 8 vuorokauden kuluessa radioaktiivisten jodiydinten lukumäärä puolittuu. Radioaktiivisia jodiytimiä on alussa 850 000 kappaletta.

Taulukkoon on laskettu radioaktiivisten ydinten lukumäärä viiden ensimmäisen puoliintumisajan jälkeen.

Radioaktiivisten ydinten lukumäärä	Puoliintumisaikojen lukumäärä	Kulunut aika (d)
850 000	0	0
425 000	1	8
212 500	2	16
106 250	3	24
53 125	4	32
26 563	5	40

Vastaus

a) Yhden puoliintumisajan eli 8 vuorokauden kuluttua.
b) Viiden puoliintumisajan eli 40 vuorokauden kuluttua.

Esimerkki 2 — Aktiivisuus

a) Asuintalon radon-aktiivisuus ei saa ylittää 200 becquerelia kuutiometrissä ilmaa (Bq/m^3). Kuinka monta radioaktiivisen radonytimen hajoamista tällä maksimiarvolla tapahtuu 40 m^3 huoneen ilmassa?
b) Ihmisen luonnollinen kalium-40-isotoopin aktiivisuus on noin 70 Bq/kg. Kuinka aktiivinen 50 kg ihminen on?

Ratkaisu

a) Huoneilman radon-aktiivisuus on noin
$40\,\text{m}^3 \cdot 200\,\text{Bq/m}^3 = 8\,000\,\text{Bq}$.
Tällöin huoneilmassa tapahtuu 8 000 radonytimen hajoamista sekunnissa.
b) Ihmisen aktiivisuus on noin
$50\,\text{kg} \cdot 70\,\text{Bq/kg} = 3\,500\,\text{Bq}$.

Vastaus

a) Huoneilmassa tapahtuu 8 000 hajoamista sekunnissa.
b) Ihmisen aktiivisuus on 3 500 Bq.

Esimerkki 3 — Hajoamislaki

Cesium-137-isotooppi on radioaktiivinen.

a) Selvitä taulukkokirjan avulla, miten se hajoaa.

b) Kirjoita hajoamisyhtälö.

c) Miten uusi ydin eroaa alkuperäisestä?

d) Piirrä käyrä, joka kuvaa cesium-137 -isotoopin hajoamista.

e) Kuinka pitkän ajan kuluttua siitä on jäljellä 10 %?

Ratkaisu

Cesiumin järjestysluku $Z = 55$. Cesiumin-137 -ytimen tunnus on ${}^{137}_{55}\mathrm{Cs}$.

a) Taulukkokirjan mukaan cesium-137-isotooppi on β^- -aktiivinen.

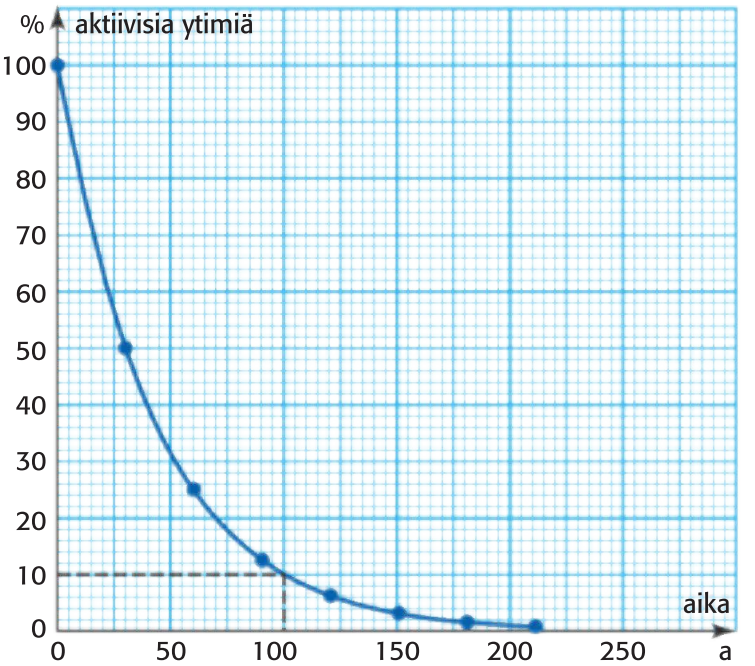
b) Beetamiinushajoamisessa järjestysluku Z kasvaa yhdellä ja massaluku A ei muutu. Hajoamisyhtälö on

$${}^{137}_{55}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \bar{\nu}.$$

c) Tytärydin barium-137 on pysyvä. Sen massaluku on sama kuin emoytimen. Järjestysluku on yhtä suurempi ja neutroniluku yhtä pienempi kuin emoytimen.

d) Cesium-137:n puoliintumisaika on 30,17 a. Lasketaan pisteet käyrälle, joka kuvaa cesium-137-isotoopin hajoamista.

Aika (a)	Aktiivisten ydinten määrä (%)
0,00	100
30,17	50
60,34	25
90,51	12,5
120,68	6,25
150,85	3,125
181,02	1,563
211,19	0,781



e) Kuvaajasta voidaan lukea, että aktiivisista ytimistä on jäljellä 10 % 100 a:n jälkeen

Vastaus

e) Aktiivisista ytimistä on jäljellä 10 % 100 vuoden kuluttua.

194. **a)** Mikä on ionisoivan säteilyn ja ionisoimattoman säteilyn ero?
b) Kerro molemmista säteilylajeista esimerkki.
c) Miten ionisoivan säteilyn lähteitä voi kulkeutua kehon sisälle?

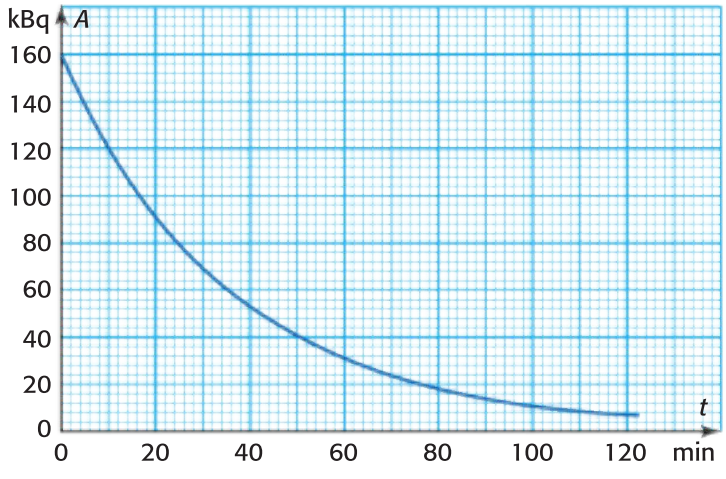
195. Strontium-90-isotoopin puoliintumisaika on noin 28 vuorokautta. Eräässä näytteessä radioaktiivisia strontiumytimiä on 850 000 kappaletta. Kuinka pitkän ajan kuluttua näytteessä on **a)** 425 000 **b)** 26 500 radioaktiivista strontiumydintä jäljellä? Esim. ①

196. Ahvenen aktiivisuudeksi mitattiin 780 Bq. Kuinka monta radioaktiivisten ytimien hajoamista tapahtui mittaushetkellä sekunnissa? Esim. ②

197. Määrittele lyhyesti käsitteet.
a) luonnon taustasäteily
b) sisäinen säteily

198. Jatka seuraavaa lausetta ainakin kolmella tavalla: Ionisoivaa säteilyä voidaan käyttää hyödyksi …

199. Jodi-128 -isotoopin aktiivisuus riippuu ajasta oheisen kuvion mukaisesti.
a) Kuinka suuri jodi-isotoopin puoliintumisaika on?
b) Kuinka pitkän ajan kuluttua näytteen aktiivisuus on pienentynyt kymmenenteen osaan alkuperäisestä? Esim. ③



200. Selitä säteilyltä suojautumisen perusohje, joka voidaan kiteyttää sanaan ASE.

201. **a)** Missä tilanteissa ihminen voi joutua tekemisiin gammasäteilyn tai röntgensäteilyn kanssa?
b) Arvioi näiden säteilylajien vaarallisuutta ihmiselle.

202. **a)** Missä tilanteissa ihminen voi joutua tekemisiin alfa- tai beetasäteilyn kanssa?
b) Arvioi alfa- ja beetasäteilyn vaarallisuuden eroja.

203. **a)** Miten ionisoivan säteilyn energia sitoutuu kudokseen?
b) Mitä kudoksessa tapahtuu säteilyn vaikutuksesta?

204. Miten säteilyä käytetään hyväksi lääketieteessä, teollisuudessa ja tutkimuksessa?

205. Suosta löytyneen suksen hiili-14-isotoopin pitoisuus oli 25 % ilman normaalista hiili-14-pitoisuudesta. Kuinka kauan sitten suksen valmistuksessa käytetty puu on kaadettu? Käytä apunasi taulukkokirjaa. Esim. ①

206. Ihmisen ominaisaktiivisuus on noin 60 Bq/kg.
a) Kuinka suuri kokonaisaktiivisuus on 70-kiloisella ihmisellä?
b) Kuinka suuri sinun kokonaisaktiivisuutesi on?
c) Mistä tämä aktiivisuus on peräisin? Esim. ②

207. Arvioi ultraviolettisäteilyn, infrapunasäteilyn, mikroaaltosäteilyn, beetasäteilyn, röntgensäteilyn tai gammasäteilyn vaarallisuutta ihmiselle.

208. Radioisotooppeja tai ionisoivaa säteilyä käytetään esimerkiksi seuraavissa sovelluksissa:
a) paksuusmittaus prosessin valvonnassa
b) merkkiainetekniikka
c) sädehoito
d) palovaroitin.
Selosta, mitä säteilyn tai säteilevän aineen ominaisuuksia kussakin sovelluksessa käytetään hyväksi.

15 Kosmos – maailmankaikkeuden järjestys

Maailmankaikkeus syntyi nykykäsityksen mukaan alkuräjähdyksessä noin 13,7 miljardia vuotta sitten. Alkuräjähdystä kutsutaan myös Big Bangiksi.

Maailmankaikkeudella on alku

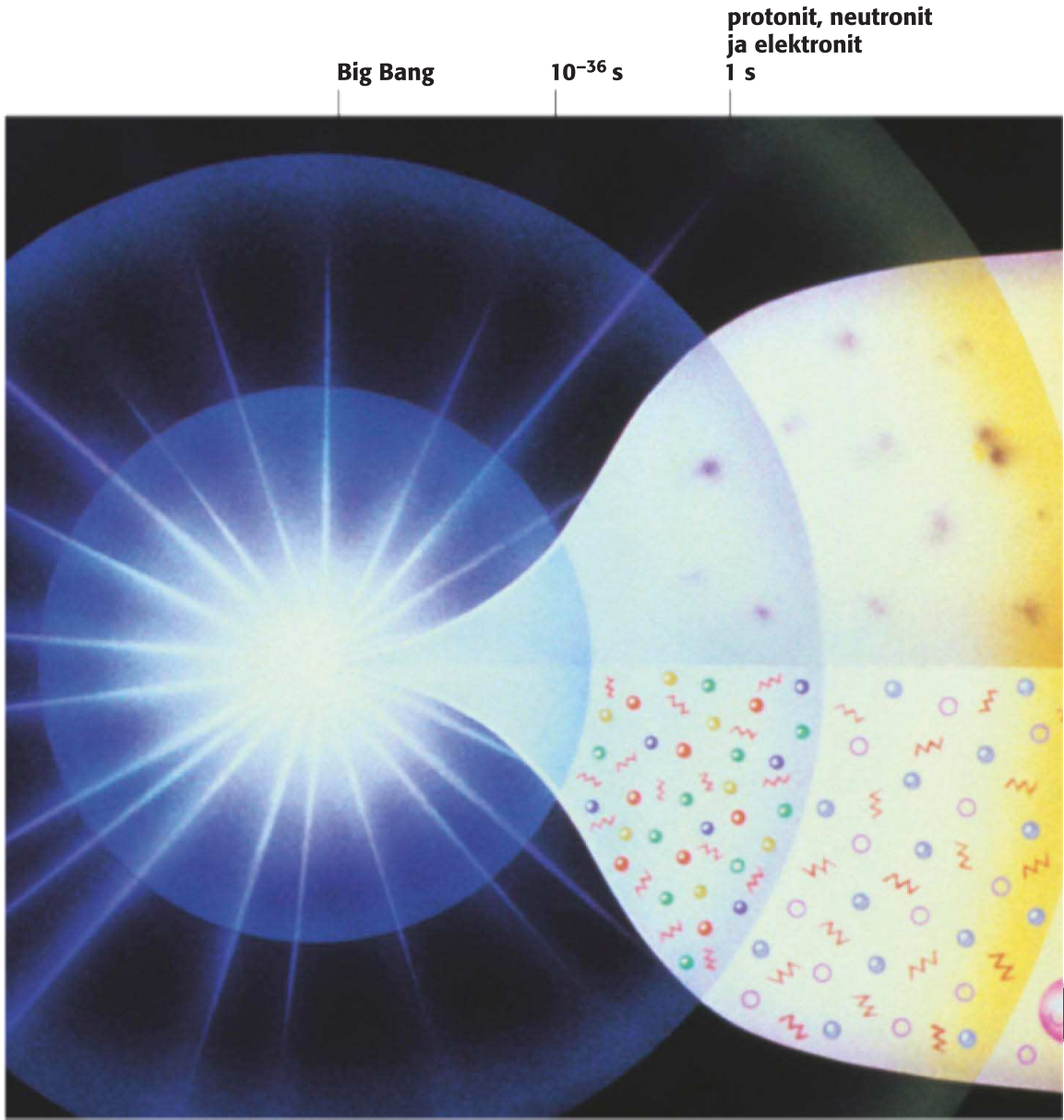
Maailmankaikkeus on aina kiehtonut ihmisiä. Tähdistä on yritetty ennustaa tulevaisuutta. Taivaalta on etsitty tähtien muodostamia tuttuja muotoja, ja niiden mukaan on nimetty tähtikuvioita. Esimerkiksi Orion muistuttaa tiimalasia ja Otava kauhaa.

Maailmankaikkeuden menneisyydestä saadaan tieteellistä tietoa tutkimalla avaruutta erilaisilla kaukoputkilla. Tieto kulkee avaruudessa valonnopeudella. Vaikka valonnopeus on suurin mahdollinen nopeus, kestää valon tuleminen Auringosta Maapallolle noin 8 minuuttia. Siksi esimerkiksi Aurinko nähdään Maassa sellaisena kuin se oli noin 8 minuuttia sitten. Mitä kauempana tarkkailtava kohde on, sitä vanhempaa tapahtumasta saatava tieto on.

Vanhin tapahtuma, josta voidaan yrittää saada tietoa, on **maailmankaikkeuden synty**. Nykykäsityksen mukaan se tapahtui 13,7 miljardia vuotta sitten. Emme tiedä, mitä tapahtui juuri syntymähetkellä, mutta tiedämme, että maailmankaikkeus oli tuolla hetkellä äärimmäisen kuuma ja tiheä. Näitä olosuhteita fysiikka ei vielä pysty selittämään.

Maailmankaikkeuden kehitys

Maailmankaikkeus syntyi alkuräjähdyksessä noin 13,7 miljardia vuotta sitten ja se laajenee ikuisesti.



Säteilystä syntyi hiukkasia

Alle sekunnin ikäinen maailmankaikkeus oli pelkkää säteilyä. Maailmankaikkeuden lämpötila laski kuitenkin nopeasti ja säteilystä alkoi syntyä hiukkasia. Kun maailmankaikkeus oli sekunnin ikäinen, kaikki protonit, neutronit ja elektronit olivat jo syntyneet. Näistä samoista rakennusaineista koostuu nykyisinkin kaikki tunnettu aine.

Kun avaruus oli 380 000 vuoden ikäinen, sen lämpötila oli laskenut 2700 celsiusasteeseen. Tässä lämpötilassa elektronit pystyivät sitoutumaan vety- ja heliumytimiin. Syntyi vety- ja heliumatomeja. Sanotaan, että tällöin avaruus tuli läpinäkyväksi. Valo pystyi kulkemaan esteettä. Vanhin asia maailmankaikkeudesta, joka voidaan nähdä kaukoputkella, on juuri tuo valon synty.

Maailmankaikkeus laajenee

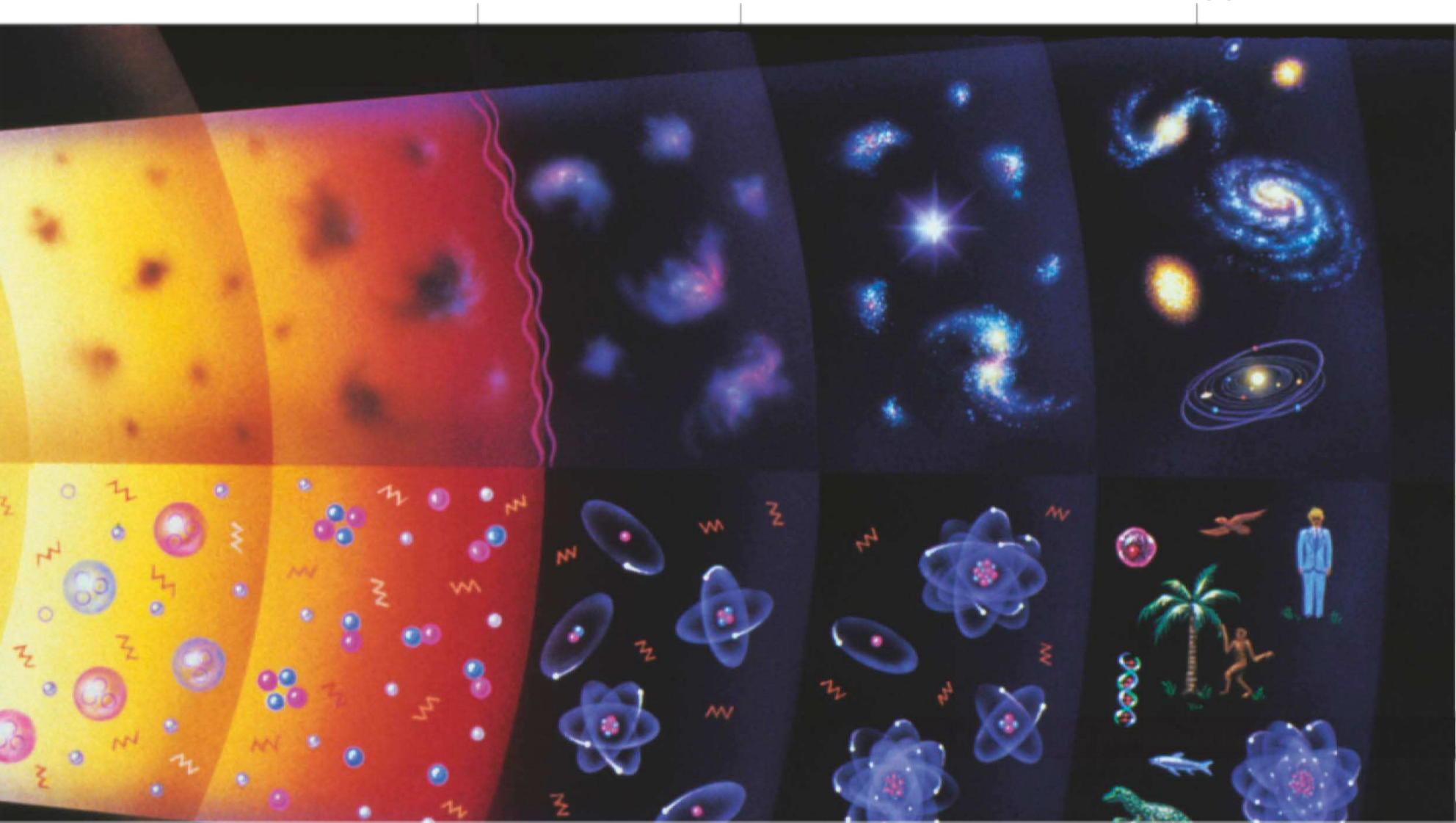
Nykyisin uskotaan, että maailmankaikkeus laajenee ikuisesti. Laajenemisnopeus on ilmeisesti suurenemassa. Lopputuloksena on pimeä ja kylmä maailmankaikkeus, jossa kylmät sammuneet tähdet ja mustat aukot vaeltavat. Tämä tapahtuu kuitenkin vasta satojen miljardien vuosien kuluttua.

Nykykäsityksen mukaan maailmankaikkeus laajenee ikuisesti.

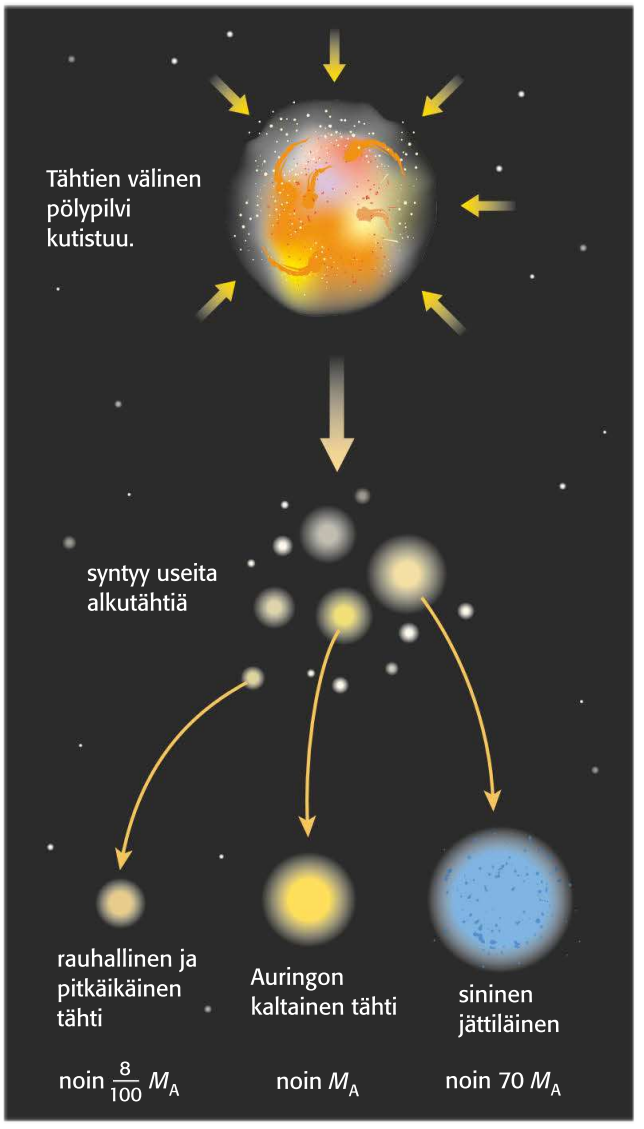
ensimmäiset atomit
380 000 a

ensimmäiset tähdet ja galaksit
200 · 10^6 a

elämä maapallolla,
nykyhetki



Tähti on taivaankappale, joka lähettää energiaa fuusion seurauksena.



M_A = Auringon massa

Tähden kirkkaus ja väri riippuvat tähden pintalämpötilasta. Tähti on sitä kirkkaampi ja sinisempi mitä suurempi sen massa on.

Tähdet syntyvät

Ensimmäiset **tähdet** ja **galaksit** syntyivät nykykäsityksen mukaan noin 200 miljoonaa vuotta vanhaan avaruuteen.

On arvioitu, että maailmankaikkeudessa on ainakin $70 \cdot 10^{22}$ tähteä. Se on noin kymmenkertainen määrä verrattuna maapallon hiekanjyvien oletettuun lukumäärään.

Ihmisikään verrattuna tähdet tuntuvat ikuisilta. Vaikka tähdet ovat pitkäikäisiä, nekin kuitenkin syntyvät, elävät nuoruuden, aikuisuuden, vanhuuden ja lopulta kuolevat. Jossain päin maailmankaikkeutta on koko ajan syntymässä uusia tähtiä.

Tähden elinkaari alkaa, kun riittävän suuri määrä avaruudessa olevaa vetyä on kerääntynyt yhteen painovoiman vaikutuksesta. Jotta tähti voi syntyä, vetyä on oltava koossa vähintään kahdeskymmenesosa Auringon massasta. Suurimpien tunnettujen tähtien massa on satakertainen Auringon massaan verrattuna. Näitä raskaita tähtiä kutsutaan **sinisiksi jättiläisiksi**.

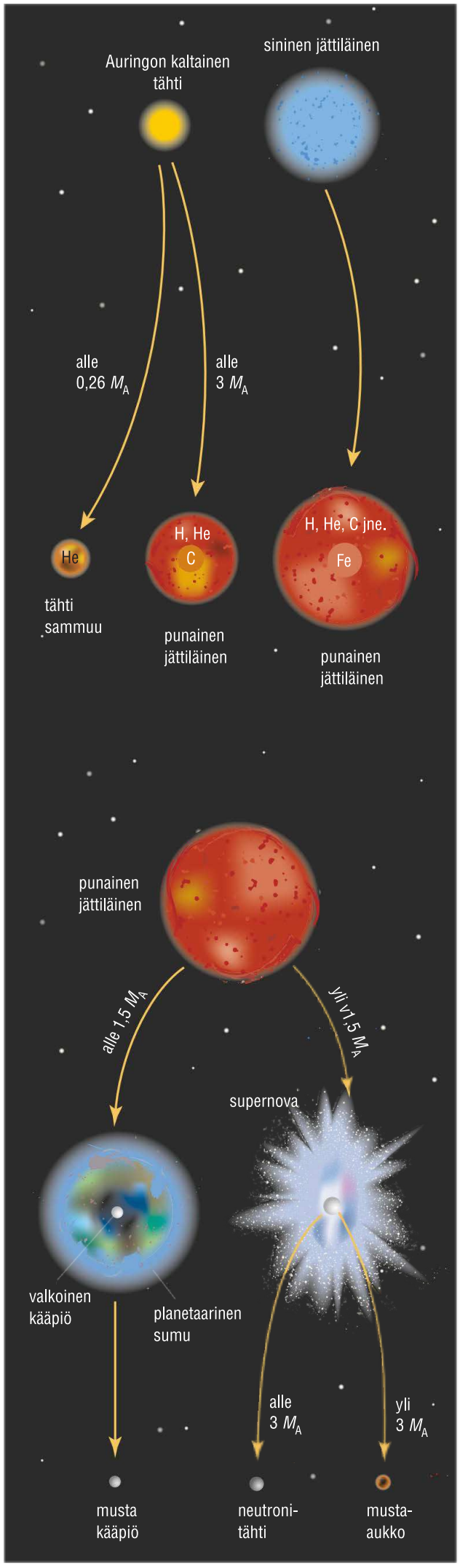
Painovoima puristaa vetypilveä tähdeksi sitä voimakkaammin, mitä enemmän vetyä on ja mitä tiheämmäksi vetypilvi tulee. Vetypilven puristuessa kasaan sen paine kasvaa ja lämpötila nousee. Kun vetypilven lämpötila on riittävän korkea, sen sisäosassa oleva vety alkaa **fuusioitua** heliumiksi. Fuusiossa vapautuu runsaasti energiaa ja tähti syttyy.

Tähdet elävät

Fuusioreaktioissa vapautuva energia leviää ympäristöön säteilynä. Säteilystä johtuva paine, **säteilypaine**, aiheuttaa painovoimalle vastakkaissuuntaisen voiman, joka alkaa jarruttaa vetypilven tiivistymistä. Vähitellen syntyy tasapainotilanne, ja tähti muuttuu vakaaksi.

Tähden elinikä riippuu sen koosta. Mitä suurempi tähti on, sitä nopeammin se kuluttaa vedyn loppuun. Lyhyimmillään tähden ikä saattaa olla vain muutamia satoja miljoonia vuosia. Auringon kokoinen tähti elää noin kymmenen miljardia vuotta.

Tähden kirkkaus ja väri riippuvat tähden pintalämpötilasta. Karkeasti ottaen raskaat tähdet ovat kuumempia ja loistavat kirkkaampina ja sinisempinä kuin pienet tähdet.



Tähdet kuolevat

Kun kaikki vety on fuusioitunut heliumiksi, helium jatkaa fuusioitumista raskaammiksi alkuaineiksi ja säteilypaine alkaa laajentaa tähteä. Seuraa vaihe, jota sanotaan **punaiseksi jättiläiseksi**. Kun tähti laajenee, sen pinnan lämpötila laskee ja väri muuttuu punaisemmaksi.

Kun fuusioreaktiot heikentyvät, jäähtyminen nopeutuu ja säteilypaine pienenee. Lopulta tähti alkaa romahtaa kasaan painovoiman vaikutuksesta.

Jos romahtava tähti on pieni, sen ulko-osat leviävät ympäröivään avaruuteen kaasupilvenä, joka laajenee avaruuteen. Tähden kuumasta sisäosasta tulee **valkoinen kääpiö**. Alkuaineet, jotka syntyivät tähden fuusioreaktioiden tuotteina, kasaantuvat tiheäksi taivaankappaleeksi. Kääpiötähti ei enää tuota energiaa, koska fuusioreaktiot ovat sammuneet, mutta se on edelleen kuuma ja loistava. Pitkän ajan kuluessa se kuitenkin jäähtyy samaan lämpötilaan kuin ympäröivä avaruus.

Suuret tähdet räjähtävät supernovina

Jos tähden massa on vähintään 1,5 kertaa Auringon massan suuruinen tähden romahtaminen saa aikaan valtavan räjähdyksen, **supernovan**. Supernova on kosmisessa mittakaavassa käsittämättömän lyhyt tapahtuma, sillä se kestää vain muutamasta päivästä viikkoihin.

Supernovan fuusioreaktioissa syntyy muun muassa elämälle välttämättömiä raskaita alkuaineita, joita leviää räjähdyksen voimasta tähteä ympäröivään avaruuteen. Jäljelle jäänyt aine jatkaa romahtamistaan niin, että atomien elektronit reagoivat protonien kanssa ja syntyy neutroneita. Lopputuloksena syntyy **neutronitähti**, jonka tiheys on samaa suuruusluokkaa kuin atomin ytimen tiheys. Paljain silmin näkyvä supernova havaittiin viimeksi vuonna 1987 Suuressa Magellanin pilvessä.

Myös tähtitieteen harrastaja voi tehdä supernovahavaintoja. Kanadalainen kymmenvuotias Kathryn Gray huomasi vuonna 2011 supernovan tutkiessaan tietokoneelta kuvia, jotka on otettu teleskoopilla 240 miljoonan valovuoden päässä sijaitsevasta galaksista.

Supernovaräjähdyksessä voi syntyä musta aukko

Joissakin tapauksissa tähden massa on niin suuri, että romahdus jatkuu edelleen ja tähti pakkautuu äärettömän tiheään tilaan. Syntyy **musta aukko**. Niiden olemassaolon ennusti Albert Einsteinin yleinen suhteellisuusteoria vuodelta 1915, mutta varmoja havaintoja niistä on saatu vasta viime aikoina.

Mustassa aukossa aineen tiheys on ääretön. Sen aiheuttama painovoima on niin voimakas, että valokaan ei voi poistua mustasta aukosta. Nimensä musta aukko on saanut juuri tästä ominaisuudesta.

Galaksit ovat tähtijärjestelmiä, joissa on miljardeja tähtiä.

Galaksien keskellä on tähtien tihentymä.

Galaksit koostuvat tähdistä

Tähdet eivät ole jakautuneet avaruuteen tasaisesti, vaan ne muodostavat valtavan suuria tähtijärjestelmiä, galakseja. Niiden välisessä avaruudessa tähtiä ei juurikaan ole. Vuosituhannen vaihteessa NASAn tutkijat arvioivat avaruuskaukoputki Hubblen havaintoihin perustuen, että maailmankaikkeudessa on noin 125 miljardia galaksia.

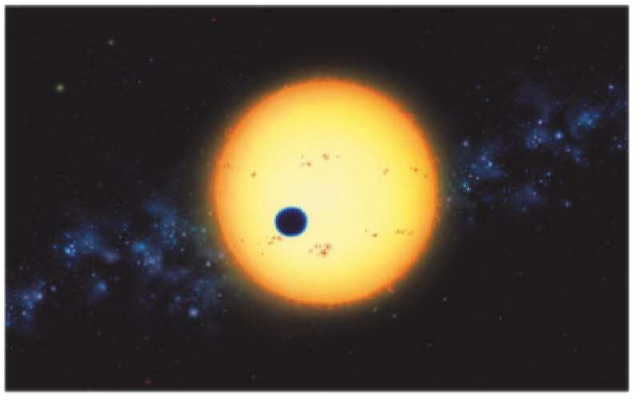
Aurinko kuuluu galaksiin, jota kutsutaan **Linnunradaksi**. Linnunradan halkaisija on noin 100 000 valovuotta eli noin 10^{16} m, ja siinä on noin 300 miljardia eli $3 \cdot 10^{11}$ tähteä. Kaikki tähdet, jotka voidaan nähdä Maan pinnalta ilman apuvälineitä, ovat Linnunradan tähtiä. Auringon lähin naapuritähti on Proxima Centauri, jonka etäisyys Auringosta on noin 4 valovuotta. Linnunrata on eräs vanhimmista galakseista, sillä sen iäksi on arvioitu 13,5 miljardia vuotta.

Galaksit ovat hyvin monen muotoisia, ja ne luokitellaankin yleensä muodon perusteella. Kaikkien galaksien yhteinen piirre on, että niiden keskellä on tähtien tihentymä ja usein yksi tai useampia mustia aukkoja. Linnunradan keskustassa on nykyisten havaintojen mukaan musta aukko, jonka massa on kolme miljoonaa kertaa Auringon massa.

Galaksijoukot koostuvat galakseista

Valtaosa galakseista kuuluu vielä suurempaan maailmankaikkeuden rakenteeseen, **galaksijoukkoon**. Galaksijoukoissa voi olla vain muutama galaksi tai jopa useita tuhansia galakseja. Linnunrata kuuluu galaksijoukkoon, jossa on kolme suurta ja kolmisenkymmentä pientä galaksia. Linnunradan lähin galaksi on vuonna 1994 löytynyt noin 80 000 valovuoden päässä oleva kääpiögalaksi SagDEG.

Planeettojen ytimessä ei tapahdu fuusioreaktiota, joten ne heijastavat ainoastaan tähtien lähettämää valoa.



Kepler-satelliitti etsii Maan kaltaisia planeettoja.

Tähdillä on planeettakuntia

Tähdet lähettävät omaa valoaan. **Planeetat** sen sijaan vain heijastavat tähtien lähettämää valoa. Planeettojen keskustassa ei tapahdu fuusioreaktiota, joten niiden pintalämpötila on pieni.

Kotitähteämme Aurinkoa ja sitä kiertäviä planeettoja kutsutaan **Aurinkokunnaksi**. Varmuus, että muidenkin tähtien ympärillä on Auringon planeettakunnan kaltaisia rakenteita, saatiin vasta vuonna 1992. Silloin havaittiin erästä neutronitähteä kiertävä planeetta. Ensimmäinen Auringon kaltaista tähteä kiertävä planeetta havaittiin vuonna 1995. Planeettaa, joka kiertää jotain muuta tähteä kuin Aurinkoa sanotaan **eksoplaneetaksi**.

Planeetat kiertävät huomattavasti itseään raskaampaa keskustähteä yleensä samaan suuntaan ellipsiratoja pitkin. Kiertosuunta johtuu siitä, että planeetat ovat syntyneet tähteä kiertävästä pölykiekosta.

Tähden ja sen ympärille muodostuvan planeettakunnan kaikki aine on aluksi pyörivässä pölykiekossa, joka on jäänyt jäljelle jonkin aikaisemman tähden räjähtäessä. Painovoiman vaikutuksesta ainetta kertyy eniten kiekon keskelle, ja sinne syntyy tähti.

Aurinkoa kiertää kahdeksan planeettaa.

Aurinkotuuli ohjaa komeetan pyrstön Auringosta poispäin.

Aurinkokunta on osa Linnunrataa

Aurinko sijaitsee Linnunradan yhden kierteishaaran laidalla. Aurinko on noin viiden miljardin vuoden ikäinen ja jotakuinkin elinikänsä puolivälissä. Parin kolmen miljardin vuoden päästä suurin osa Auringon vedystä on muuttunut heliumiksi ja Aurinko alkaa paisua. Tämän vaiheen jälkeen jäljelle jäänyt aine romahtaa ja syntyy valkoinen kääpiö.

Maa kiertää Aurinkoa samaan suuntaan seitsemän muun planeetan kanssa. Planeetat ovat Auringosta lukien Merkurius, Venus, Maa, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus ja Neptunus. Merkuriusta ja Venusta lukuunottamatta planeetoilla on omat kiertolaisensa eli kuut. Planeetat kiertävät oman akselinsa ympäri kierrosnopeudella, joka määrää kullekin planeetalle vuorokauden pituuden.

Aurinkoa lähinnä olevat neljä planeettaa ovat **kiviplaneettoja**, jotka ovat muodostuneet pääasiassa kiinteistä alkuaineista. Seuraavat neljä planeettaa ovat **kaasuplaneettoja**. Jupiter ja Saturnus koostuvat lähinnä vedystä ja heliumista. Uranus ja Neptunus koostuvat pääosin hiilen, hapen, typen ja vedyn yhdisteistä. Aurinkokunnan kaasuplaneetat ovat kooltaan huomattavasti suurempia kuin kiviplaneetat. Niitä kutsutaankin myös **jättiläisplaneetoiksi**.

Pluto on **kääpiöplaneetta** samoin kuin Ceres. Kääpiöplaneetat eroavat planeetoista siinä, että niiden kiertoradan läheisyydessä voi olla muita lähes samankokoisia kappaleita. Planeettojen lisäksi Auringolla on lukemattomia muita kiertolaisia. Marsin ja Jupiterin välisellä asteroidivyöhykkeellä olevat pikkuplaneetat eli **asteroidit** ovat mahdollisesti jonkin muinaisen planeetan jäänteitä. Pikkuplaneettoja on myös muualla Aurinkokunnassa.

Maan ilmakehään tulee avaruudesta jatkuvasti pieniä kiviä. useimmat niistä palavat ilmakehän ilmanvastuksen aiheuttaman kuumenemisen vuoksi ennen kuin ne saavuttavat maanpinnan. Tällaisia tähdenlentoina näkyviä kiviä sanotaan **meteoreiksi**. Jos kivi on niin suuri, että osa siitä pääsee Maahan asti, sitä sanotaan **meteoriitiksi**.

Auringon eksoottisimpia kiertolaisia ovat **komeetat**. Komeetan keskuskappale on suhteellisen pieni kivi- ja jäämöykky, josta aurinkotuuli irrottaa pölyä. Pölyhiukkaset sinkoutuvat avaruuteen, ja niistä muodostuva pyrstö osoittaa aina Auringosta poispäin.

Tiivistelmä

- Maailmankaikkeuden ikä on noin 13,7 miljardia vuotta.
- Maailmankaikkeus laajenee ikuisesti.
- Tähti syttyy, kun sen ytimessä alkaa vapautua energiaa vedyn fuusioituessa heliumiksi.
- Planeetat heijastavat tähtien lähettämää valoa.
- Suuret tähdet räjähtävät supernovina. Räjähdyksessä syntyy raskaita alkuaineita kuten uraania. Tähden ydin romahtaa neutronitähdeksi tai mustaksi aukoksi.
- Galaksit koostuvat tähdistä.

Esimerkki 1 — Aurinkokunnan mittakaava

Auringon säde on $6{,}96 \cdot 10^8$ m. Maan etäisyys Auringosta on $1{,}50 \cdot 10^{11}$ m. Millä etäisyydellä Maa on mallissa, jossa Auringon säde on 1,0 m?

Ratkaisu

Lasketaan mallin mittakaava k.

$$k = \frac{\text{pituus mallissa}}{\text{pituus luonnossa}} = \frac{1\ \text{m}}{6{,}96 \cdot 10^8\ \text{m}}$$

$$= \frac{1}{6{,}96 \cdot 10^8}$$

Mittakaava on $\frac{1}{6{,}96 \cdot\ 10^8}$.

Maan etäisyys mallissa saadaan kertomalla mittakaavalla Maan mitattu etäisyys Auringosta.

$$\text{Maan etäisyys mallissa} = \frac{1}{6{,}96 \cdot 10^8} \cdot 1{,}50 \cdot 10^{11}\ \text{m}$$

$$= 215{,}5\ \text{m} \approx 220\ \text{m}.$$

Vastaus

Maan etäisyys Auringosta on mallissa 220 metriä.

Esimerkki 2 — Liikkuminen avaruudessa

Tähtitieteellinen yksikkö AU on pituudeltaan sama kuin Maan ja Auringon välinen keskietäisyys.
$1\ \text{AU} = 149{,}6 \cdot 10^9$ m.
Kuinka kauan tämä matka kestää
a) valolta
b) avaruusalukselta, jonka nopeus on 11 km/s?

Ratkaisu

a) Valonnopeus $c = 2{,}998 \cdot 10^8$ m/s, $s = 149{,}6 \cdot 10^9$ m.
Ratkaistaan nopeuden kaavasta aika

$$v = \frac{s}{t} \quad | \cdot\ t$$

$$vt = s \quad | : v$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$= \frac{149{,}6 \cdot\ 10^9\,\text{m}}{2{,}998 \cdot\ 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 498{,}999\ \text{s}$$

$$= 8\ \text{min}\ 19\ \text{s}$$

b) Nopeus on 11 000 m/s.

$$t = \frac{s}{v}$$

$$= \frac{149{,}6 \cdot 10^9\,\text{m}}{11\ 000\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1{,}36 \cdot 10^7\ \text{s}$$

$$= 157{,}407\ \text{vrk} \approx 160\ \text{vrk}.$$

Vastaus

Matka kestää
a) 8 minuuttia ja 19 sekuntia
b) 160 vuorokautta.

15 Tehtävät — Perustehtävät

209. Järjestä pienimmästä suurimpaan: Aurinko, galaksijoukko, Linnunradan galaksi, Maa, Kuu, komeetta.

210. Ovatko väittämät tosia? Korjaa virheelliset väittämät.
a) Planeetat lähettävät omaa valoaan.
b) Supernovaräjähdyksessä syntyy neutronitähti tai musta-aukko.
c) Maailmankaikkeuden ikä on noin 13,7 miljoonaa vuotta.
d) Andromeda on tähtikuvio pohjoisella taivaalla.

211. Mikä ero on tähdellä ja planeetalla?

212. Mikä ero on Aurinkokunnalla ja Linnunradan galaksilla?

213. Miksi Maa kiertää Aurinkoa?

214. Millainen tähti on
a) sininen jättiläinen
b) punainen jättiläinen
c) valkea kääpiö
d) neutronitähti?

215. **a)** Kuinka vanha maailmankaikkeus on?
b) Koska ensimmäiset tähdet syntyivät?
c) Kuinka vanha Linnunradan galaksi on?
d) Kuinka vanha Aurinko on?

15 Tehtävät — Soveltavat tehtävät

216. Eräässä mallissa Auringon halkaisija on yksi metri. Laske, kuinka kaukana Auringosta olisivat tässä mallissa
a) Jupiter **b)** Neptunus.
Etsi tarvitsemasi tiedot taulukkokirjasta. Esim. ①

217. **a)** Laske Maan ja Kuun halkaisijan suhde.
b) Laske Auringon ja Maan halkaisijan suhde.
Etsi tarvitsemasi tiedot taulukkokirjasta.

218. Kuinka kauan matka Maasta Kuuhun kestäisi avaruusaluksella, jonka keskinopeus olisi 1,1 km/s? Etsi tarvitsemasi tiedot taulukkokirjasta. Esim. ②

219. Laske, kuinka monikertainen Maan ja Auringon välinen etäisyys on Maan ja Kuun väliseen etäisyyteen verrattuna. Etsi tarvitsemasi tiedot taulukkokirjasta.

220. Eräässä mallissa Auringon halkaisija on yksi metri. Auringon säde on $6{,}96 \cdot 10^8$ m.
Laske, kuinka kaukana Auringosta tässä mallissa ovat tähdet
a) Proxima Centauri
b) Barnardin tähti. Esim. ①

Auringon lähimmät naapuritähdet

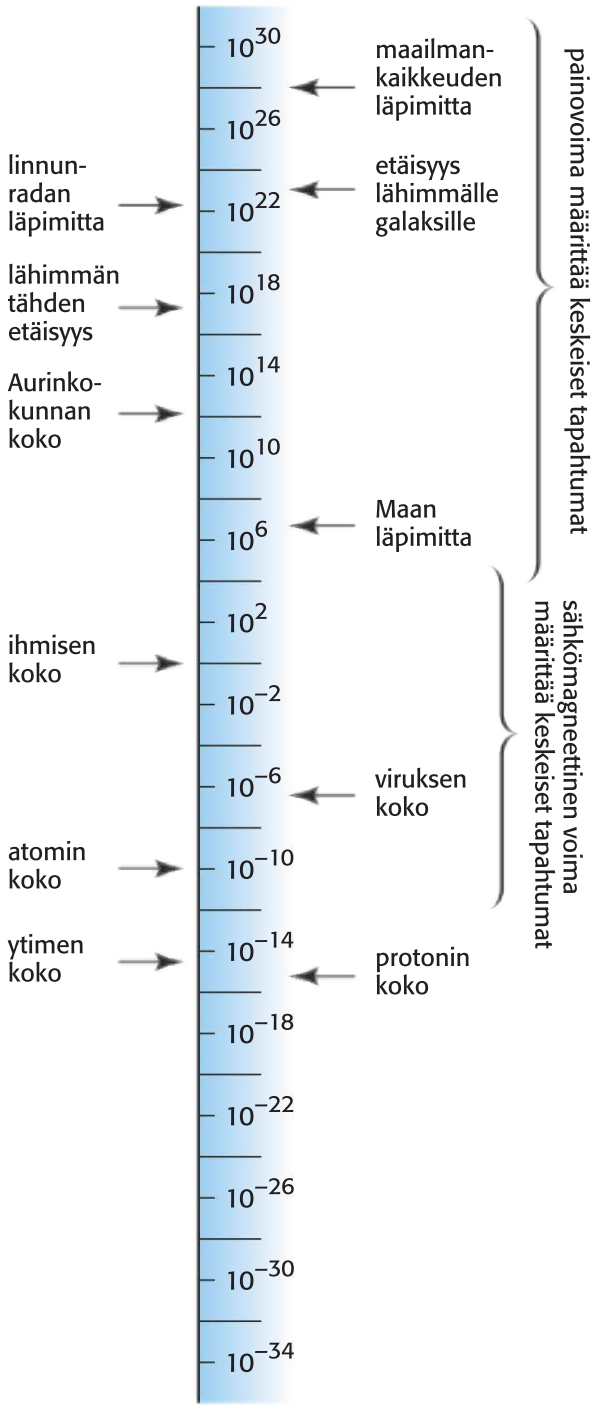
Tähden nimi	Etäisyys Auringosta (Pm)
Proxima Centauri	40,1
Rigil Centaurus A/B (kaksoistähti) *)	41,0
Barnardin tähti	56,5
Wolf 359	73,7
BD+36° 2147	78,4
Sirius A/B (kaksoistähti)	82,1

*) Tähdelle käytetään myös nimeä Alfa Centauri ja Beta Centauri.

221. Kuinka kauan matka lähimmälle tähdellä Proxima Centaurille kestäisi avaruusaluksella, jonka nopeus olisi 500 km/s? Esim. ②

222. Tiedonhankintatehtävä
Selvitä, kuinka monta eksoplaneettaa nykyisin tunnetaan ja mitä niistä tiedetään.

16 Tuleeko fysiikka koskaan valmiiksi?



Vuorovaikutus sitoo osat yhteen

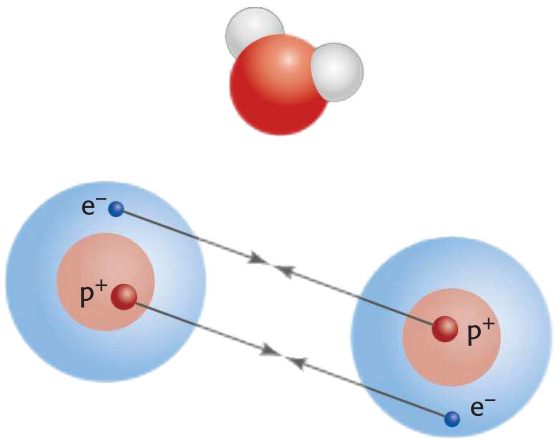
Jalkapallopelissä pelaajat eivät pelaa yksin vaan yhtenä joukkueena. Pelaajia sitoo yhteen pallo. Kun puolustaja syöttää pallon hyökkääjälle, puolustaja ja hyökkääjä ovat vuorovaikutuksessa. Puolustajan potkun suuntaan ja kovuuteen vaikuttaa hyökkääjän asema kentällä. Toisaalta puolustajan syöttö vaikuttaa hyökkääjän etenemiseen. Kun valmentaja ohjaa pelaajia, hänellä on mielessä jokin ajatus, malli, miten peli etenee tietyssä tilanteessa. Urheiluselostaja kuvaa ja selittää pelin kulkua käyttäen vakiintuneita käsitteitä ja pelin kuvauksia, ja yrittää tunnistaa välillä valmentajan mallin pelin kulusta.

Fysiikan standardimalli yhdistää perushiukkaset ja perusvuorovaikutukset

Fyysikot pelaavat samankaltaista peliä kuin jalkapallopelaajat, valmentajat ja selostajat. Fyysikot tutkivat aineen rakenneosasia ja niiden välisiä vuorovaikutuksia Maan päällä laboratorioissa. Tutkimustuloksista he rakentavat teorioita, malleja, joita kehitetään kriittisesti keskustellen. Samoja malleja voidaan käyttää, kun selitetään tähtien välisiä vuorovaikutuksia, arkipäiväisiä ilmiöitä ja aineen mikroskooppista rakennetta.

Fysiikan tutkimus yrittää muodostaa teorian, jolla voidaan kuvata sekä koko maailmankaikkeuden että pienten hiukkasten fysiikka. **Fysiikan standardimalli** yhdistää kaksitoista **perushiukkasta** ja kolme **perusvuorovaikutusta**, joita ovat sähkömagneettinen, vahva ja heikko vuorovaikutus. Standardimalli ja gravitaatiovuorovaikutus yhdessä muodostavat nykyisen fysiikan perustan.

Standardimallilla on pystytty ennustamaan tarkasti kaikki ne hiukkaset, jotka hiukkaskiihdyttimissä on mitattu. Mutta kuten jokaisella fysiikan teorioilla, myös standardimallilla on rajoitukset. Se ei toimi, jos hiukkasten energiat ovat mielivaltaisen suuria. Siksi fyysikot kehittävät uusia teorioita.



Atomit sitoutuvat molekyyleiksi atomien välisten sähkömagneettisten vuorovaikutusten takia.

Vuorovaikutukset sitovat materian yhteen

Atomin pitää koossa atomin ytimen positiivisten protonien ja elektroniverhon negatiivisten elektronien välinen sähkömagneettinen vuorovaikutus. Atomeissa on yhtä paljon positiivisia protoneja ytimessä kuin negatiivisia elektroneja ytimen ympärillä elektroniverhossa. Siksi atomit ovat sähköisesti neutraaleja. Niiden välillä ei siis näytä olevan sähköisiä voimia.

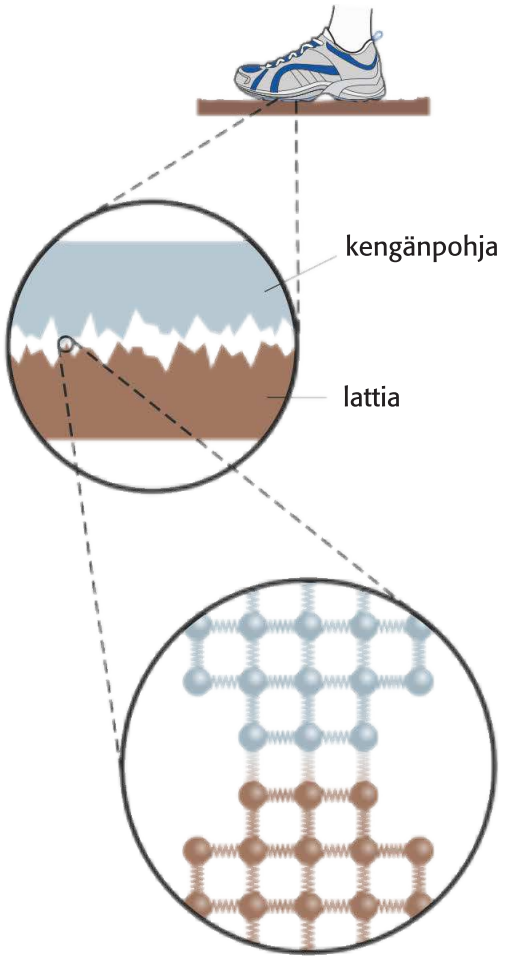
Myös aineen rakenneosia toisiinsa sitovat kemialliset sidokset aiheutuvat sähkömagneettisesta vuorovaikutuksesta. Esimerkiksi vesimolekyyli pysyy kasassa vedyn ja hapen atomien elektroniverhojen elektronien ja ytimen protonien sähköisten vuorovaikutusten kautta. Kemiassa näitä vuorovaikutuksia kutsutaan sidoksiksi.

Myös makroskooppisen aineen, esimerkiksi kirjan paperin, sitoutuminen yhdeksi kokonaisuudeksi voidaan selittää atomin rakenneosien sähköisillä vuorovaikutuksilla. Ilman näitä vuorovaikutuksia aine ei pysyisi koossa vaan se olisi yksittäisiä erillisiä atomeja.

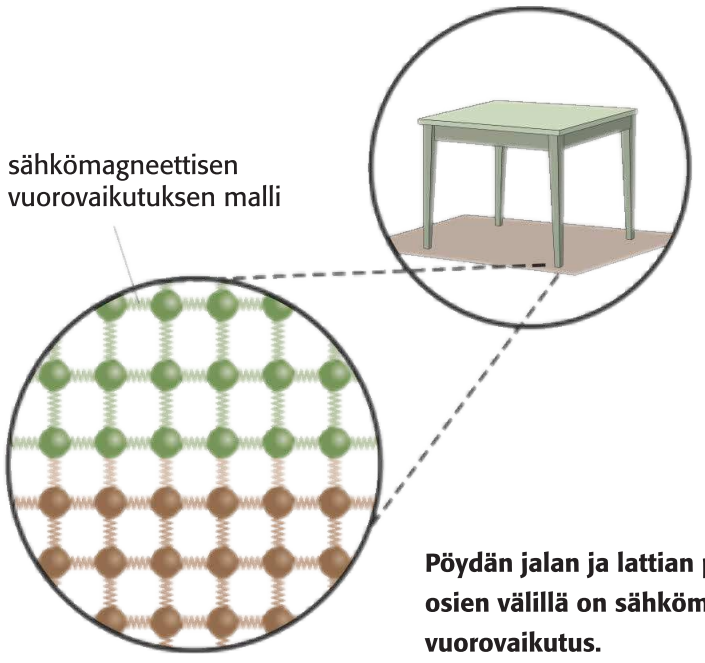
Kitka ja tukivoima seuraavat sähkömagneettisesta vuorovaikutuksesta

Kitkaa sanotaan kosketusvuorovaikutukseksi, koska makroskooppisella tasolla tarkasteltuna esimerkiksi kenkä ja alusta koskevat toisiaan. Kengän ja alustan välinen kitkavuorovaikutus voidaan kuitenkin selittää aineen rakenneosien välisten sähkömagneettisten vuorovaikutusten avulla. Atomaarisella tasolla kyseessä on etävuorovaikutus, jossa kengän ja alustan molekyylit vuorovaikuttavat toistensa kanssa.

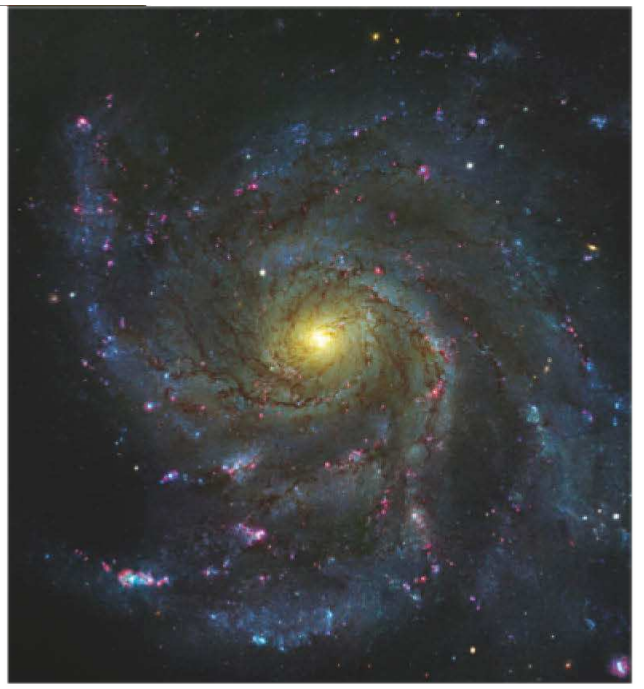
Myös lattian tukivoima seuraa sähkömagneettisesta vuorovaikutuksesta. Lattian kovuus on kemiallisten sidosten eli sähkömagneettisen vuorovaikutuksen seurausta. Pöydän jalan painaessa lattiaa, lattia-aineen atomit ja molekyylit ”puristuvat”, jolloin sähköinen hylkimisvoima kasvaa ja lattia on kova.



Kitkavoima selitetään sähkömagneettisen vuorovaikutuksen avulla. Jousi mallintaa rakenneosien sähkömagneettista vuorovaikutusta.



Pöydän jalan ja lattian pinnan rakenneosien välillä on sähkömagneettinen vuorovaikutus.



Gravitaatiovuorovaikutus sitoo makroskooppisen maailman kokonaisuudeksi

Auringon ja Maan välillä on gravitaatiovuorovaikutus, joka sitoo Auringon ja Maan yhteen. Tästä vuorovaikutuksesta seuraa Maahan kohdistuva voima, joka saa Maan kiertämään Auringon ympärillä. Maan ja Kuun välillä vaikuttaa myös gravitaatiovuorovaikutus, josta seuraa Kuuhun vaikuttava voima ja Kuun kiertorata Maan ympäri. Siten gravitaatiovuorovaikutus sitoo Auringon, Maan ja Kuun yhteen.

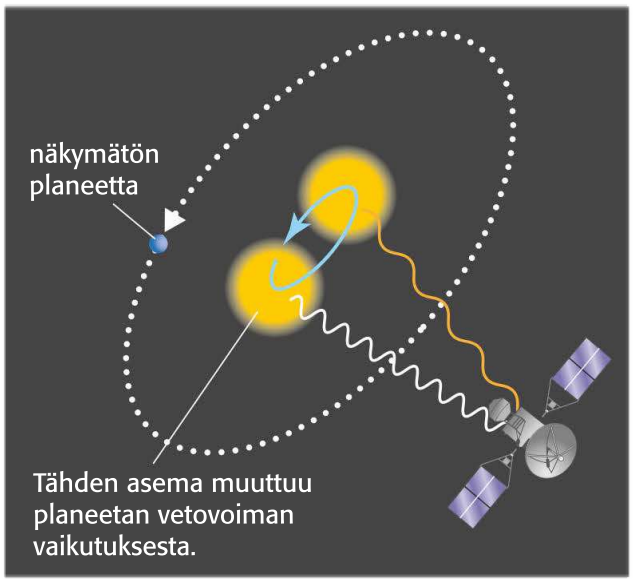
Vastaavasti Aurinko on vuorovaikutuksessa muiden tähtien kanssa. Nämä vuorovaikutukset aiheuttavat Aurinkoon kohdistuvan voiman, joka määrää Auringon liikkeen. Toisaalta Aurinko vaikuttaa muihin tähtiin ja osaltaan vaikuttaa niiden liikkeeseen. Gravitaatio sitoo tähdet tähtijoukoiksi ja galakseiksi. Galaksit sitoutuvat toisiinsa ja näin muodostuu kosmoksen suuri kudelma.

Avoimia kysymyksiä 1 — **Eksoplaneettoja etsitään monilla menetelmillä**

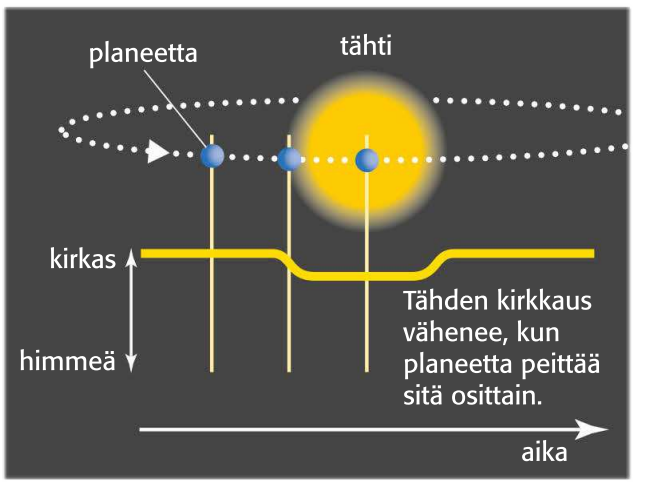
Ensimmäinen Auringon kaltaista tähteä kiertävä planeetta havaittiin vuonna 1995. Planeettaa, joka kiertää jotain muuta tähteä kuin Aurinkoa sanotaan **eksoplaneetaksi**. Eksoplaneetta on Aurinkokunnan ulkopuolinen planeetta.

Vaikka planeetat ovat tähteä kevyempiä, ne vaikuttavat tähden liikkeeseen. Ensimmäiset eksoplaneetat löydettiinkin tutkimalla tähtien säännöllisesti muuttuvaa liikettä. Planeettoja voidaan myös etsiä tähden kirkkautta tarkkailemalla. Kun planeetta on Maan ja tähden välissä, tähdestä Maahan tuleva valo heikkenee jonkin verran. Nykyisin etsintään käytetään myös kameroita.

Arvioiden mukaan noin kymmenellä prosentilla tähdistä on planeettakunta. Uusi eksoplaneettoja löytyykin yhä enemmän, kun havaintomenetelmät kehittyvät. Eksoplaneettatutkimus herättää kysymyksen elämästä muilla planeetoilla.



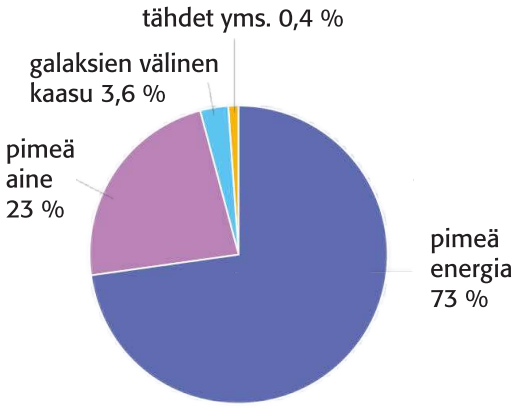
Huojumismenetelmä: Kun eksoplaneetta kiertää tähteä, planeetan vetovoima vaikuttaa hivenen tähden paikkaan. Paikan muutos voidaan havaita tähden lähettämää säteilyä tutkimalla. Tähden paikan säännöllinen vaihtelu paljastaa eksoplaneetan.



Ohitusmenetelmä: Kun eksoplaneetta on tähden ja Maan välissä, havaitaan tähden kirkkauden muutos. Säännöllinen kirkkauden muutos voidaan selittää eksoplaneetan olemassaololla.

Avoimia kysymyksiä 2

Pimeä energia kiihdyttää maailmankaikkeuden laajenemista

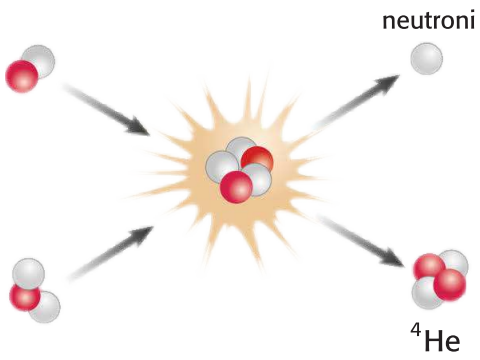


Maailmankaikkeuden aineesta ja energiasta tunnetaan nykykäsityksen mukaan vain noin 4 %. Loppu on tuntematonta pimeä ainetta (21 %) ja pimeää energiaa (75 %). Pimeä aine ja energia ilmenevät fyysikoiden laskuissa, mutta niiden olemusta ei vielä tunneta.

Gravitaatio vetää yhteen maailmakaikkeuden osia, tähtiä ja galakseja. Fyysikot ovat tienneet jo useiden vuosikymmenien ajan, että maailmankaikkeus laajene. Laajenemisen syy on ollut epäselvä. Ratkaisuksi on esitetty niin sanottua pimeää energiaa. Pimeä energia työntää galakseja erilleen toisistaan ja aiheuttaa maailmankaikkeuden kiihtyvän laajenemisen. Pimeän energian lähdettä tai välittäjähiukkasta ei tunneta. Pimeää energiaa arvioidaan olevan yli 70 % maailmankaikkeuden energiatiheydestä. Ongelmana on vain, mitä tuo energia on.

Avoimia kysymyksiä 3

Fuusioreaktorilla saadaan veden vedystä energiaa



Vedyn isotoopit deuterium ja tritium fuusioituvat. Fuusiossa vapautuu energiaa.

Nykyiset ydinvoimalaitokset ovat fissiovoimalaitoksia, joissa energiaa saadaan uraanin fissioreaktioista. Koska uraania on maaperässä rajallinen määrä, etsitään muita energialähteitä.

Fuusioreaktorissa tuotetaan energiaa, kun vety-ytimet fuusioituvat heliumiksi. Energian tuotanto on samanlainen kuin Auringossa. Koska siinä käytetään vedyn ytimiä, ”polttoainetta” on runsaasti saatavilla, koska vesi koostuu vedystä ja hapesta. Arvellaan, että teknisten ongelmien vuoksi fuusioreaktoria ei ole sähköntuotannossa lähivuosikymmenien aikana. Se on aktiivisien tutkimuksen kohteena ja siltä odotetaan ratkaisua energia ja ilmasto-ongelmiin.

Avoimia kysymyksiä 4

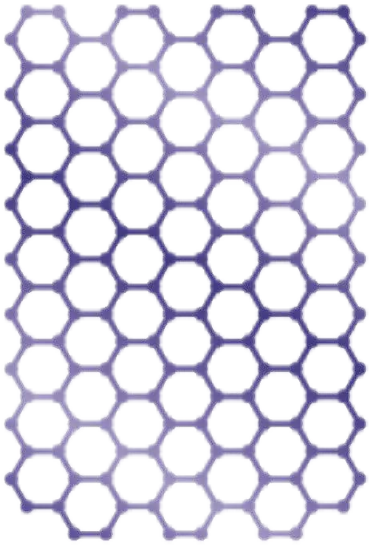
Hybridiauto yhdistää sähköauton ja polttomoottoriauton

Hybridiautot käyttävät voimanlähteenä sekä polttomoottoria että sähkömoottoria. Mikäli sähkö tuotetaan hiilidioksidipäästöjä lisäämättä, hybridiautot auttavat ilmaston lämpenemisen ehkäisemisessä. Hybridiauto voi olla siirtymävaiheen kulkuneuvo siirryttäessä kokonaan polttomoottorittomaan autokantaan. Tulevaisuudessa autot mahdollisesti toimisivat pääasiassa vedyllä ja sähköllä. Lähiaikoina pyritään siihen, ettei taajamaliikenteessä olisi polttomoottoriautoja.

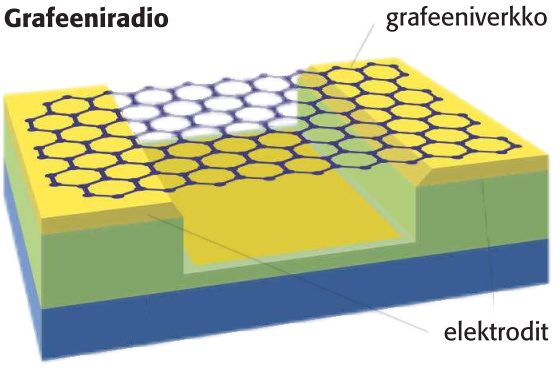
Avoimia kysymyksiä 5

Grafeeni on maailman ohuin ja kestävin materiaali

Grafeeni



Grafeeniradio



Hiilen eräs esiintymismuoto grafeeni on hiiliatomeista koostuva yhden atomin paksuinen verkkomainen ja tasomainen rakenne. Grafeeni on itse asiassa hyvin tavallinen aine, sillä lyijykynissä käytetty grafiitti koostuu grafeenitasoista.

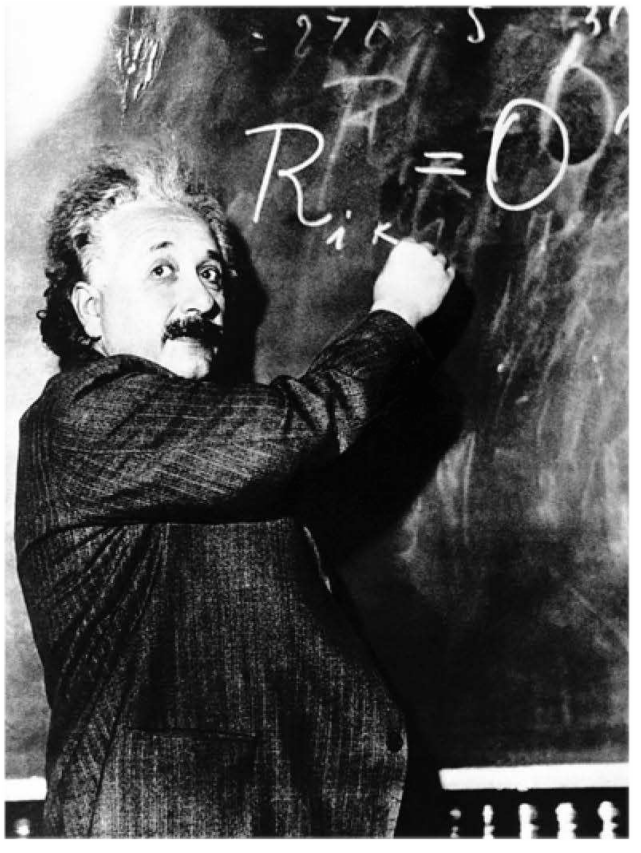
Grafeenilla on hämmästyttäviä ominaisuuksia: se on ohuin ja vahvin tunnettu aine, se johtaa hyvin sekä lämpöä että sähköä. Jos grafeenista valmistettaisiin neliömetrin kokoinen riippumatto, se kannattaisi kissan, jonka massa on neljä kiloa. Mutta riippumaton massa olisi vain 0,77 milligrammaa ja se olisi ohuempi kuin kissan viiksikarva.

Grafeenin sovelluskohteina ovat sähköä johtavat, läpinäkyvät kalvot. Näitä tarvitaan esimerkiksi aurinkokennoissa ja kosketusnäytöissä.

Grafeenin sähköisiä ominaisuuksia voitaisiin käyttää elektroniikassa. On esitetty, että ohuista graafeenikalvoista saisi maailman pienimmän radion. Grafeeniverkko toimisi kuin trampoliini. Kun siihen osuu sähkömagneettisia aaltoja, se alkaa värähdellä niiden tahdissa. Tämä värähtely vahvistettaisiin normaalin radion tapaan ääneksi. Tällä hetkellä kehityksen suurin ongelma on se, että radio toimisi vain alle 77 kelvinin lämpötilassa (-196 °C).

Avoimia kysymyksiä 6

Kvanttiteleportaatio mahdollistaa kvanttitietokoneet



Einstein piti kvanttilomittumista ”aavejuttuna”, ei tieteenä.

Kvanttiteoria on mullistanut arkipäivän. Ilman tätä noin sata vuotta vanhaa teoriaa meillä ei olisi käytössä nykyistä viihde-elektroniikkaa, nanosuksia ja monia muita hyödykkeitä. Teorian ennustuksiin kuuluu myös niin sanottu lomittuminen ja teleportaatio.

Tieteisfilmeissä ja romaaneissa esitetään teleportaatio, jossa ihmisiä ja materiaa siirretään paikasta toiseen tekemällä ne ensin aineettomiksi ja sitten palauttamalla takaisin aineelliseksi. Kvanttimekaniikan teleportaatiossa ei kuitenkaan siirretä ainetta vaan tietoa.

Lomittumisessa kahden hiukkasen fysikaaliset ominaisuudet korreloivat sopivissa olosuhteissa keskenään. Esimerkiksi jos ensimmäiselle hiukkaselle mitataan tietty arvo, voidaan kertoa, mikä arvo saataisiin toiselle hiukkaselle. Hiukkaset voivat olla avaruudellisesti kaukana toisistaan, mutta silti ensimmäiselle hiukkaselle saatu mittaustulos määrää myös toisen hiukkasen arvon. Vaikka lomittuneiden hiukkasten välinen tieto liikkuukin kvanttifyysikoiden käsityksen mukaan ilman viivettä, ei tämän tiedon mittaaminen onnistu äärettömän nopeasti.

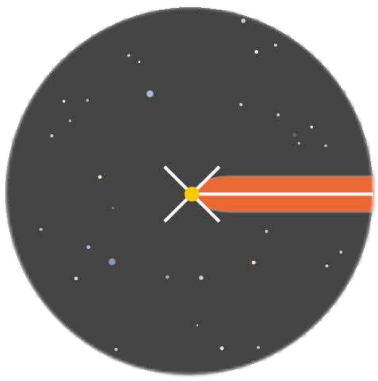
Tämä on tärkeä nykytutkimuksen kohde sekä teoreettisesti että kokeellisesti ja se liittyy muun muassa kehitteillä olevaan kvanttitietokoneeseen, joka olisi monin kerroin nykyisiä nopeampi ja tehokkaampi.

Avoimia kysymyksiä 7

Kosmologian kehitys

Avoimia kysymyksiä 8

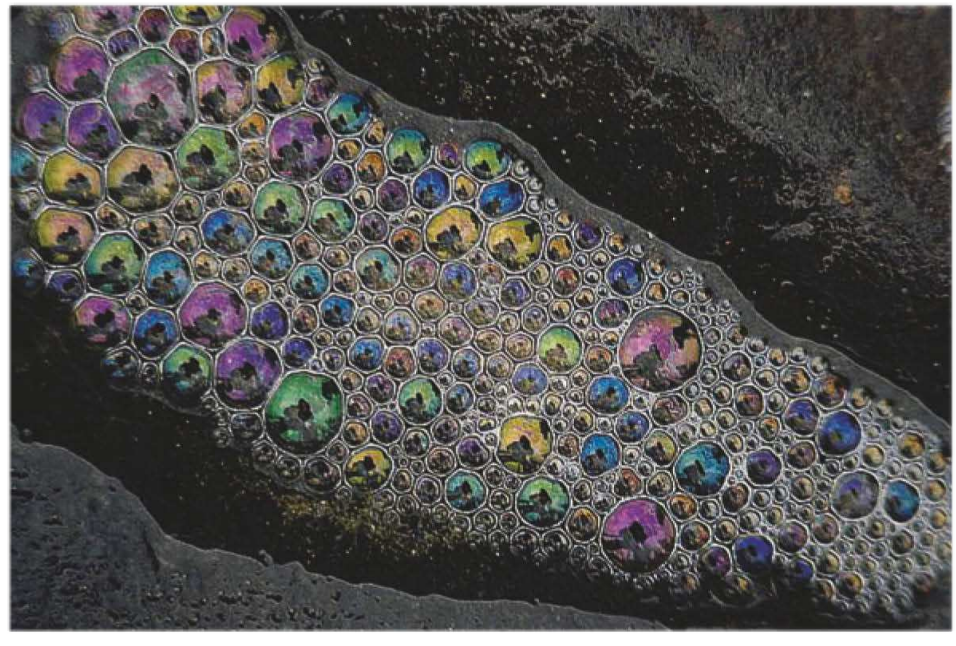
Multiversumi



Kosminen horisontti estää meitä näkemästä sen taakse.

Tähtitieteilijät pystyvät näkemään tapahtumia, joiden ikä on noin 13 miljardia vuotta. Tätä kutsutaan kosmiseksi horisontiksi. Tuon rajan toiselta puolelta meillä ei ole mitään tietoa. Kosmologit ovat esittäneet erilaisia arvauksia, mitä siellä voisi olla. Eräs tällainen malli on multiversumi. Tämän mallin mukaan on olemassa lukematon määrä muita maailmoja. Nämä voivat olla meidän maailmankaikkeuden kaltaisia, mutta niistä ei periaatteessa voi saada tietoa.

Multiversumin maailmat ovat kuin limonadin vaahtoa. Jokainen kupla vaahdossa on yksi erillinen maailma.



Multiversumi-mallissa maailmankaikkeus koostuu erillisistä maailmoista. Jokainen maailma on oman kosmisen horisontin rajaama.

Kertaustehtävät

Luku 2

223. Kuinka monta merkitsevää numeroa mittaustuloksessa on?

a) Kuun etäisyys Maasta on 384 400 km.

b) Keltaisen valon aallonpituus on 0,000 560 mm.

c) Maan säde on 6 378,140 km.

224. Selvitä yksiköitä tarkastelemalla, voiko yhtälö

a) $v^2 = 2as$ **b)** $mgh = \frac{1}{2}mv$

pitää paikkansa.

Luku 3

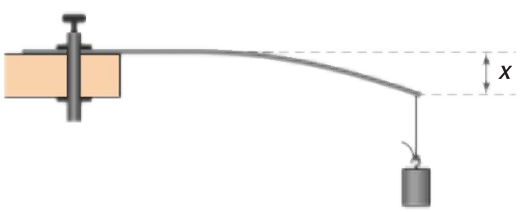
225. Pikajuoksija juoksi sadan metrin matkan ajassa 9,79 s. Laske juoksijan keskinopeus, ja ilmoita se oikealla tarkkuudella.

226. Mikä pituuden arvoista on suurin:
0,035 nm; $735 \cdot 10^{-14}$ m; 24,6 pm; $2{,}79 \cdot 10^{-13}$ m?

Luku 4

227. Viivain kiinnitettiin tukevasti pöytään ja sen toiseen päähän ripustettiin punnuksia. Mitattu taipuma x eli viivaimen kuormitetun pään etäisyys lähtötasosta eräillä kuormilla on esitetty taulukossa.

m (g)	50	100	150	200	250	300
x (mm)	25	51	73	90	106	121



Piirrä kuvaaja, joka esittää taipuman riippuvuutta kuormasta ja selvitä kuvaajan avulla,

a) kuinka suuri kuorma taivuttaa viivainta 8,0 cm

b) mikä on viivaimen taipuma, kun kuorma on 220 g.

228. Styroksin tiheys on 15 kg/m^3. Kuinka suuri tilavuus on styrox-levyllä, jonka massa on 2,3 kg?

Luku 5

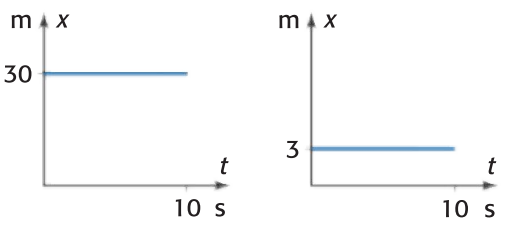
229. Muuttohaukka syöksyi sata metriä 0,9 sekunnissa. Laske haukan keskinopeus. Anna tulos käyttäen sekä yksikköä m/s että km/h.

Luku 6

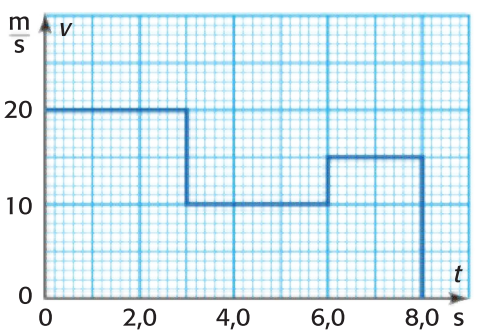
230. Alla on esitetty neljä liikkuvan kappaleen kuvaajaa ajan funktiona aika-paikka-koordinaatistossa.

a) Missä tilanteessa kappale on liikkunut eniten 10 sekunnin aikana?

b) Missä tilanteessa kappale on liikkunut vähiten 10 sekunnin aikana?



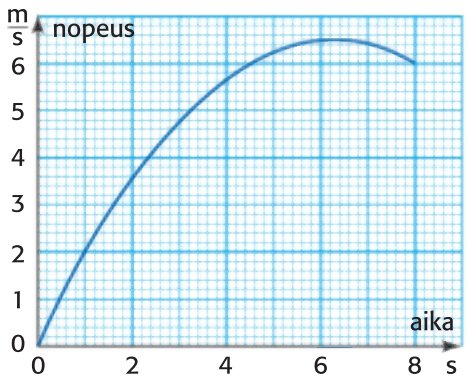
231. Määritä matka, jonka kappale kulkee 8,0 sekunnissa, kun nopeus vaihtelee kuvaajan mukaisesti.



232. Pendolino liikkuu eräällä Mäntsälän ja Lahden välillä olevalla osuudella tasaisella nopeudella 182 km/h. Kuinka pitkän matkan juna kulkee minuutissa?

Luku 7

233. Kuvaaja esittää kappaleen nopeutta ajan funktiona. Määritä kappaleen keskikiihtyvyys aikavälillä 3 s – 8 s.



234. Formula1-kilpailuissa kilpa-autoilija kiihdyttää auton nopeudesta 67 km/h nopeuteen 293 km/h 3,0 sekunnin aikana.

a) Kuinka suuri auton keskikiihtyvyys on?

b) Kuinka monikertainen kiihtyvyys on putoamiskiihtyvyyteen *g* verrattuna?

Luku 8

235. Onko seuraavien kappaleiden välillä etä- vai kosketusvuorovaikutus?

a) Maa ja Kuu

b) putoava pallo ja Maa

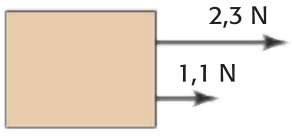
c) kirja pöydällä ja pöytä

d) jalka ja tie

Luku 9

236. Laske kappaleeseen vaikuttavan kokonaisvoiman suuruus ja kappaleen kiihtyvyys.

a) Kappaleen massa on 2,0 kg.



b) Kappaleen massa on 1,5 kg.

237. Piirrä voimakuvio kappaleille seuraavissa tilanteissa.

a) **kahvikuppi** pöydällä

b) **tikka** lentää ilmassa suoraan kohti tikkataulua

238. Mopon ja tytön yhteinen massa on 145 kg. Kuinka suuri mopoon vaikuttavan kokonaisvoiman on oltava, että se antaisi mopolle kiihtyvyyden 4,2 m/s^2?

239. Piirrä hissin matkustajaan vaikuttavat voimat seuraavissa tilanteissa.

a) Hissi on tasaisessa liikkeessä.

b) Hissi liikkuu ylös ja kiihdyttää tasaisesti.

c) Hissi liikkuu alas ja hidastaa tasaisesti.

Luku 10

240. **a)** Mitä tarkoitetaan sillä, että gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus ovat perusvuorovaikutuksia?

b) Mikä perusvuorovaikutus on vallitseva, kun

1. komeetta kaartaa Auringon ympäri
2. kompassin neula asettuu Maan pinnalla pohjois-eteläsuuntaan
3. protoni muodostuu kolmesta kvarkista?

Luku 11

241. Kuvaile energian muuntumista, kun matkapuhelimen akkua

a) ladataan

b) puretaan.

c) Piirrä energiakaavio akun lataamisesta.

242. 250 g:n suklaalevy nostetaan lattialta pöydälle 0,90 m:n korkeudelle.

a) Kuinka suuri suklaalevyn potentiaalienergia on noston jälkeen lattiaan verrattuna?

b) Levy putoaa pöydältä lattialle. Kuinka suuri levyn liike-energia on juuri ennen, kun se osuu maahan?

Luku 12

243. Erään kosken keskivirtaama on 15 m^3/s ja pudotuskorkeus 2,5 m. Kuinka paljon veden potentiaalienergiaa vapautuu koskessa minuutissa?

244. Onko väite oikein? Perustele vastauksesi. Jos väite on väärin, niin korjaa se oikeaksi.

a) Kappaleen potentiaalienergian muutos kaksinkertaistuu nostossa, jos nostokorkeus kaksinkertaistuu.

b) Kun putoavan kappaleen nopeus on puolet loppunopeudesta, kappaleen potentiaalienergia on pienentynyt puoleen alkuperäisestä.

245. Kun syöttäjä heittää pesäpallon suoraan ylöspäin, pallo nousee 3,2 m:n korkeudelle syöttölautasesta. Pesäpallon massa on 160 g.

a) Kuinka suuri pallon potentiaalienergia on syöttölautaseen verrattuna, kun pallo on korkeimmassa kohdassa.

b) Millä nopeudella pallo osuu syöttölautaselle hutilyönnin jälkeen?

Luku 13

246. **a)** Minkä alkuaineen atomin ytimessä on 79 protonia ja 118 neutronia?

b) Kirjoita ydin merkinnän ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ avulla.

247. Mitkä seuraavista väitteistä pitävät paikkansa, mitkä eivät? Perustele lyhyesti.

a) Nukleonit ovat atomiytimen rakenneosasia.

b) Isotoopit ovat saman alkuaineen eri esiintymismuotoja, jotka poikkeavat toisistaan atomiytimen protonimäärän erilaisuuden vuoksi.

c) Alfasäteily on ionisoivaa säteilyä, koska se pystyy irrottamaan atomista elektroneja.

d) UV-säteily ja sitä pitempiaaltoinen sähkömagneettinen säteily ovat ionisoivaa säteilyä.

Luku 14

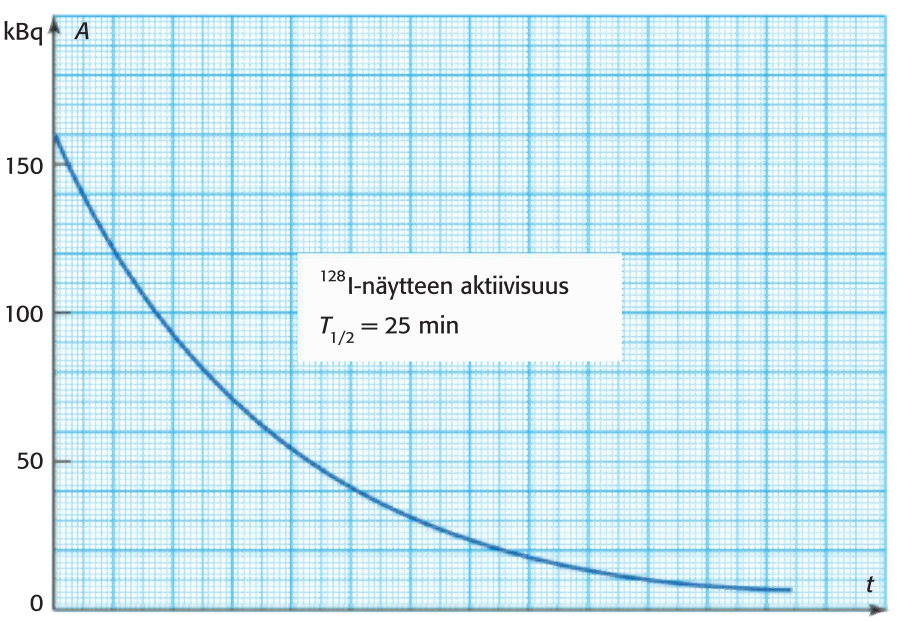
248. **a)** Uraani-isotoopi, jonka massaluku on 238, on α-aktiivinen. Kirjoita sen hajoamisyhtälö ja nimeä tytärydin.

b) Täydennä reaktioyhtälö ${}^{66}_{29}\mathrm{Cu} \rightarrow {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + \ldots\ldots + \overline{\nu}$. Kerro, mitä hajoamisprosessissa tapahtuu.

249. Laboratoriossa tutkittiin radioaktiivisen jodin hajoamista. Erään näytteen aktiivisuus pieneni kuvion mukaisesti.

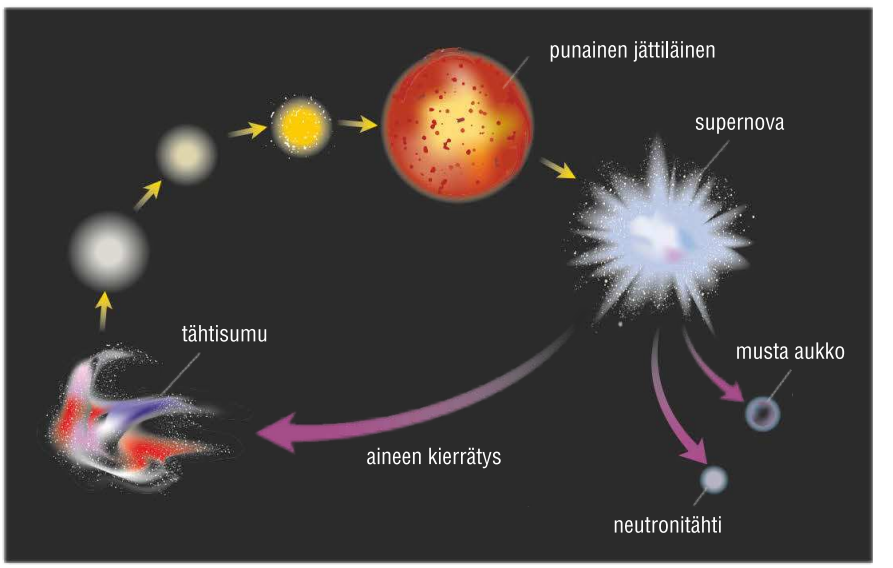
a) Merkitse kuvaajan aika-akselille oikeat ajan arvot, kun tiedetään, että tämän jodi-isotoopin puoliintumisaika on 25 min.

b) Määritä sen jälkeen kuvaajasta aika, jonka kuluessa näytteen aktiivisuus on pienentynyt kymmenenteen osaan alkuperäisestä.



Luku 15

250. Kuvassa on esitetty aineen kiertokulku avaruudessa.



Kuvaile tähden aineen kiertokulkua kuvan avulla. Käytä kuvan termejä esityksessäsi.

251. Auringon säde on $6{,}96 \cdot 10^{8}$ m. Eräässä mallissa Auringon säde on 1,0 m. Kuinka kaukana tässä mallissa on Sirius, kun sen todellinen etäisyys Auringosta on $82{,}1 \cdot 10^{15}$ m?

Tehtävien vastaukset

6. **a)** 4
b) 7
c) 3
d) 2

7. **a)** 102 kg
b) 27 100 km
c) 0,022 8 mm

8. 5,195 m – 5,205 m

9. **b)** 2,5 bar

10. **b)** 0,10 kg
c) 2

14. **b)** 68 mmHg, 112 mmHg, 64 pulssia/min

15. **c)** –23 °C, 18,4 °C, 22,9 °C

16. **a)** 39 km
b) 1,5 h

17. 2,5 N

18. **a)** 4,4 m²
b) 5,30 $

19. **a)** 0,52 m^3
b) 0,0083 m^3

20. **a)** $1{,}3 \cdot 10^7$ m
b) $2{,}73 \cdot 10^3$ g
c) $3{,}06 \cdot 10^7$ s
d) $1{,}39 \cdot 10^7$ km^2
e) $6{,}47 \cdot 10^{-7}$ m
f) $2{,}79 \cdot 10^5$ m^3

21. $1{,}09 \cdot 10^6$ Hz = 1,09 MHz

22. **a)** 10 000 m tai 10 km
b) 12 000 m tai 12 km
c) $1{,}20 \cdot 10^4$ m tai 12,0 km
d) $1{,}2000 \cdot 10^4$ m tai 12,000 km

23. **a)** 12,3 Mm
b) 1,532 Mg
c) 23 µs
d) 27 µg

24. **a)** 3,670
b) $1{,}990 \cdot 10^{30}$ kg

25. **a)** 0,0067 dm^3
b) 0,000 218 dm^3
c) 83000 dm^3
d) 62,7 dm^3
e) 0,176 dm^3
f) 0,37 dm^3
g) 32 dm^3

26. **a)** $8{,}64 \cdot 10^{13}$ s
b) 11,6 d
c) 31,7 a

27. **a)** 332 900
b) 81,30

28. 2,2 miljardia

29. **a)** 1,3 Gm
b) 0,7 ns
c) 0,231 Mm
d) 5,3 ms

30. 1836

31. **a)** $9{,}460\,55 \cdot 10^{12}$ km
b) $1{,}495\,979 \cdot 10^8$ km

32. **a)** 420 nm = $420 \cdot 10^{-9}$ m
b) 0,5 ms = $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ s

33. **a)** $0{,}42\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$
b) $19\,\frac{\text{kgm}}{\text{s}}$
c) $4{,}0\,\frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2}\,(= \text{J})$

34. **a)** 31 cm
b) 5,8 s

35. **c)** 0,78 g/cm^3

38. **a)** 0,86 dl
b) 2,1 l

43. 0,739 dm^3

44. 860 kg

45. 620 kg

48. 2,3 m/s

49. 12 km

50. 60 s

51. **a)** 90 km/h
b) 1 476 km/h ≈ 1500 km/h

52. **a)** 6,9 m/s
b) 1500 m/s

53. **d)** 8,9 m/s

54. 750 mm

55. 45 km

56. **a)** 9,737 m/s
b) 1,25 m

57. **a)** 100 km/h ja 33 km/h
b) 43 km/h

58. 0,03 m/s eli 0,1 km/h

59. **b)** 5,7 m/s
c) 57,4 m
d) 43,6 s

63. **c)** 42 km/h

66. **a)** 104 km/h
b) 640 m

67. **b)** 20 m
c) 10 m/s

69. **b)** A 2,5 m/s ja B 1,0 m/s

70. 34 m

72. **a)** 0,55 m/s
b) 5,5 m

73. **a)** 17 km
b) 47 s

75. 1,1 m/s^2

78. 1,4 m/s^2

80. **a)** 24 m/s
b) 86 km/h

81. 1,9 s

82. 31 m/s

83. 4,0 s

84. **a)** 0,25 m/s^2, 0,12 m/s^2

85. 34 m

86. **a)** 5 m/s, 24 m/s
b) 2,1 m/s^2

87. **a)** 30 m/s
b) 23 s

88. 26 vrk

89. 18 m/s

108. **a)** 7,4 N
b) 6 N

109. 340 N

110. 82 000 kg

111. **a)** 610 N
b) 47 kg

112. **a)** 2 N
b) 0 N
c) 0 N

114. **a)** 0,63 m/s^2
b) 0,63 m/s
c) 1,9 m/s

115. 5,5 N

117. **a)** 530 N
b) 840 N

118. $1{,}1 \cdot 10^2$ N

119. **b)** 1,4

120. 1,25

121. 2,6 kN

122. 370 N

126. **a)** 4
b) 7
131. 86, 132
143. **a)** 1 000
b) 100 milj.
148. 410 J
151. 9,4 J
154. **a)** 37 J
c) 0,19 m
158. 150 J
172. 0,36 kg
173. **a)** 8
c) 630 MJ
174. 11 MJ
175. 0,30 kg
178. 0,000 450 mm – 0,000 490 mm.
195. **a)** 28 d
b) 140 d
196. 780 kpl/s
199. **a)** 24 min
b) 83 min
205. 11 000 a
206. 4 200Bq
216. **a)** 560 m
b) 3 200 m
217. **a)** 3,7
b) 110
218. 97 h
219. 390
220. **a)** $2{,}88 \cdot 10^7$ m
b) $4{,}06 \cdot 10^7$ m
221. 2 500 a
225. 10,2 m/s
226. $3{,}5 \cdot 10^{-11}$ m
227. **a)** 175 g
b) 9,5 cm
228. 0,15 m^3
229. 100 m/s tai 400 km/h
231. 120 m
232. 3 km
233. 0,24 m/s^2
234. **a)** 21 m/s
b) 2,1-kertainen
236. **a)** 3,4 N ja 1,7 m/s^2
b) 1,5 N ja 2 m/s^2
238. 610 N
242. **a)** 2,2 J
b) 2,2 J
243. 22 MJ
245. **a)** 5,0 J
b) 7,9 m/s
249. **b)** 82 min
251. 118 000 km

Hakemisto

A

aika–paikka-koordinaatisto 34
aktiivisuus 103
alfasäteily 92
alkeisvaraus 70
asteroidi 115
atomin ydin 70
Aurinkokunta 114

B

becquerel 103
beetasäteily 93
Big Bang 110
biopolttoaine 85

D

dosimetri 103
dynamiikan peruslaki 63

E

efektiivinen annos 104
elektroni 70
elektroniverho 70
emoydin 92
energia 78
  liike-energia 79
  lämpöenergia 79
  potentiaalienergia 78
  sidottu energia 78
  säteilyenergia 79
  vapaa energia 78
  ydinenergia 78
energiakaavio 80
energialähde 84
energiamuoto 78
energian muuntuminen 79
energian säilymislaki 79
etävoima 57

F

fossiilinen polttoaine 85
fuusioreaktio 112
fysikaalinen pinta-ala 42, 50
fysikaalinen kulmakerroin 27

G

galaksijoukko 114
galaksi 112
gammasäteily 94
geigerputki 103
grafeeni 122
graafinen tasoitus 27

H

hitaus 64

I

infrapunasäteily 95
ioni 100
isotooppi 70

J

jatkavuuden laki 62
johdannaissuure 13
johdannaisyksikkö 13
järjestysluku 70

K

kemiallinen energia 78
kerrannaisyksikkö 20
keskinopeus 35
kiihtyvyys 48
  keskikiihtyvyys 48
  putoamiskiihtyvyys 51
kokonaisvoima 63
komeetta 115
kosketusvoima 57
kuvaajan sovittaminen 27
kvarkki 71

L

leptoni 71
Linnunrata 114
lomittuminen 122
lämpöarvo 87

M

maailmankaikkeuden synty 110
malli 26
  graafinen malli 27
  matemaattinen malli 27
massa 64
massaluku 70
matka 35
merkitsevä numero 11
meteori 115
meteoriitti 115
mikroaallot 95
mittaaminen 10
mittaustarkkuus 10
musta aukko 113
muuttuva liike 48

N

neutronisäteily 93
neutroni 70, 93
neutroniluku 70
neutronitähti 113
newton 56
Newtonin I laki 62
Newtonin II laki 63
Newtonin III laki 56
näkyvä valo 95

P

paino 64
perushiukkanen 71
perussuure 13
perusyksikkö 13
pimeä aine 121
pimeä energia 121
planeetta 114
  eksoplaneetta 114, 120
  jättiläisplaneetta 115
  kaasuplaneetta 115
  kiviplaneetta 115
  kääpiöplaneetta 115
protoni 70
puoliintumisaika 103
putoamiskiihtyvyys 51
pätevyysalue 29

R

radioaalto 95
riippuva suure 26
röntgensäteily 94

S

sievert 104
SI-järjestelmä 10
standardimalli 118
suure 12
  suureen arvo 12
suureyhtälö 18
sähköenergian tuottaminen 86
säteily 92
  hiukkassäteily 92
  ionisoimaton säteily 106
  ionisoiva säteily 100
  sähkömagneettinen säteily 92
  säteilyn heikkeneminen 104
  säteilypaine 112
  taustasäteily 101
Säteilyturvakeskus 105

T

tasainen liike 40
tasaisesti kiihtyvä liike 49
teleportaatio 122
tiheys 27
tytärydin 92
tähti 112
  punainen jättiläinen 113
  sininen jättiläinen 112
  supernova 113
  valkoinen kääpiö 113
  musta kääpiö 113

U

ultraviolettisäteily 94
uraani 85
uusiutumaton energialähde 84
uusiutuva energialähde 84

V

vektorisuure 56
verrannollisuus 27
vertailutaso 78
voima 56
etävoima 57
kosketusvoima 57
vastavoima 56
voimakuvio 57
vuorovaikutus 71
  gravitaatiovuorovaikutus 72
  heikko vuorovaikutus 73
  perusvuorovaikutus 72
  sähkömagneettinen vuorovaikutus 72
  vahva vuorovaikutus 73

Y

ydin 70
yksikkö 12

Valokuvien oikeudet

Kannen kuvat: Suomen kuvapalvelu/Corbis/Tim Davis: ylh., Suomen kuvapalvelu/Corbis/Frank Krahmer: alh.

Alloverpress/Alamy/ EcoPhotography./ Jerry and Marcy Monkman: s. 63,
Alloverpress/Alamy/The Stock Asylum: s. 95 alh. oik., 102 ylh. vas.

Colourbox: s. 7 alh . vas. ja alh. toinen oik., 9 alh. toinen vas., 10 alh. toinen oik., 11 alh. vas., 13, 15 alh. oik., 37, 48, 56, 57, 62 alh. oik., 70, 71 alh. toinen vas., 78 alh. vas., 92, 94 alh. vas., alh. toinen vas. ja alh. oik.

Anita Kokkila: s. 41 alh. oik.

Lehtikuva/Minttu Lehtovaara: s. 8 alh. toinen vas.
Lehtikuva/Jussi Nukari: s. 78 alh. oik.
Lehtikuva/AFP Photo/Ken Shimizu: s. 103 ylh.
Lehtikuva/AFP Photo/Genya Savilov: s. 103 kesk.
Lehtikuva/Heikki Saukkomaa: s. 105

Matton: s. 86 (hiili)

Phovoir: s. 87 ylh. vas.

Plugi: s. 10 alh. oik., 16 alh. oik., 17 ylh. vas., 24, 41 alh. vas., 44, 62 kesk. vas., 68, 78 alh. kesk., 86 (biopolttoaineet), 87 alh. vas.

Sanoma Pro Oy: s. 7 alh. oik., 8 toinen oik., 10 alh. toinen vas., 11 ylh. vas., 11 alh. oik., 12 alh. kesk., 26, 62 alh. toinen oik., 82, 86 (vesivoima), (aurinko), 94 kesk. vas., 95 alh. kesk.
Sanoma Pro Oy/Roope Permanto: s. 6 alh., 79 alh. kesk., 84, 86 (tuulivoima)
Sanoma Pro Oy/Mika-Pekka Markkanen: s. 7 alh. toinen vas.
Sanoma Pro Oy/Minna Hopia: s. 10 ylh. vas., 16 alh. vas.
Sanoma Pro Oy/Marcel Maltzeff: s. 11 kesk. vas.
Sanoma Pro Oy/Minttu Lehtovaara: s. 11 alh. toinen oik.
Sanoma Pro Oy/Anita Kokkila: 17 alh. vas. ja ylh. oik., 28, 31, 72 alh. oik., 79 alh. vas., 86 (sähkö), (generaattori), 94 alh. toinen oik., 121
Sanoma Pro Oy/Minna Eriksson: s. 52, 90
Sanoma Pro Oy/Laura Reunanen: s. 53, 89
Sanoma Pro Oy/Tomi Setälä: s. 95 alh. vas.
Sanoma Pro Oy/Outi Montonen: s. 106 alh. vas.

Jarmo Sirviö: s. 98, 106

Suomen kuvapalvelu/Corbis/Bettmann: s. 6 ylh., 122
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Design Pics/Corey Hochachka: s. 7 kesk. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Science Faction/Louie Psihoyos: s. 8 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Ronnen Eshel: s. 8 alh. oik.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Peter M. Fisher: s. 9 alh. toinen oik.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/George Steinmetz: s. 9 alh. oik.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Imageshop: s. 10 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Tim Pannel: s. 11 alh. toinen vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Erik Isakson: s. 12 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Stocktrek Images: s. 20 kesk. vas., 114 ylh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Science Faction William Radcliffe: s. 23
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Robert Harding World Photography/Michael Runkel: s. 35
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Photomorgana: s. 41 alh. kesk.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Aurora Photo/Michael Eudenbach: s. 42
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Jim Sugar: s. 51
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Design Pics/Carson Ganci: s. 62 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/David Stoecklein: s. 62 alh. toinen vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Laura Doss: s. 71 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Shooting Gallery Photography: s. 72 ylh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Roger Ressmeyer: s. 72 kesk. vas.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Cultura: s. 75
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Jim Cummins: s. 77 ylh.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Paul A. Souders: s. 77 alh.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Blend Images/ColorBlind Images: s. 79 alh. oik.
Suomen kuvapalvelu/Corbis/Stocktrek Images/Robert Gendler: s. 120
Suomen kuvapalvelu/Corbis/John McAnulty:s. 123
Suomen kuvapalvelu/Photo Researchers Inc./NASA: s. 71 alh. kesk., 115 ylh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Photo Researchers Inc./Gerard Lodriguss: s. 115 kesk. vas.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Pasieka: s. 7 ylh.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Ian Hooton: s. 9 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library: s. 15 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Steve Gschmeissner: s. 20 alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Royal Astronomical Society: s. 30
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/ISM/HR Bramaz: s. 71 kesk. oik.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/European Southern Observatory: s. 71 alh. toinen oik.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/NASA: s. 71 alh. oik.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/David Parker: s. 73
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/ISM: s. 102 kesk. vas. ja alh. vas.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Eurelios/Marco Ansaloni: s. 102 kesk. kesk.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Jerry Mason: s. 102 alh. kesk.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Klaus Guldbrandsen: s. 106 kesk.
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Davis Hardy: s. 110–111
Suomen kuvapalvelu/Science Photo Library/Lynette Cook: s. 114 alh. vas.

Timo Suvanto: s. 34, 40